

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-195023

(43)Date of publication of application : 09.07.2003

(51)Int.Cl.

G02B 5/18

(21)Application number : 2002-113478

(71)Applicant : NITTO DENKO CORP

(22)Date of filing : 16.04.2002

(72)Inventor : KATAYAMA SHIGERU

HORIIE MIKA

MOROISHI YUTAKA

URAIRI MASAKATSU

HIRAO KAZUYUKI

TSUTSUMI NAOTO

(30)Priority

Priority number : 2001203448

Priority date : 04.07.2001

Priority country : JP

2001251747

22.08.2001

JP

2001251748

22.08.2001

JP

2001251749

22.08.2001

JP

2001282635

18.09.2001

JP

2001282636

18.09.2001

JP

2001322092

19.10.2001

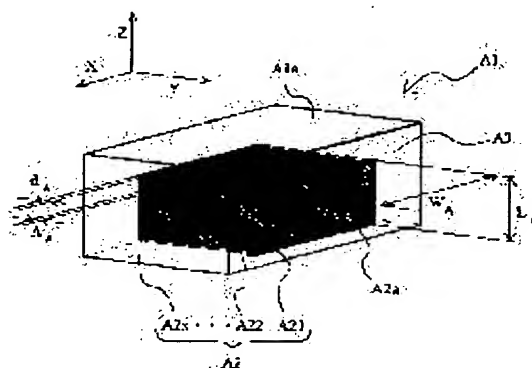
JP

(54) PLASTIC TRANSMISSION TYPE DIFFRACTION GRATING AND METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a plastic transmission type diffraction grating which has high diffraction efficiency and can be easily manufactured, and a method of manufacturing the same.

SOLUTION: This plastic transmission type diffraction grating has a plurality of refractive index-changed parts whose refractive indexes are changed inside a plastic structure. The plurality of refractive index-changed parts are parallel to each other, or the interval between adjacent refractive index-changed parts changes from one side toward the other side. The refractive index-changed parts may be formed by emitting laser whose pulse width is  $\leq 10-12$  second to the plastic structure.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2003-195023  
(P2003-195023A)

(43) 公開日 平成15年7月9日(2003.7.9)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 2 B 5/18

識別記号

F I

G 0 2 B 5/18

テマコード<sup>\*</sup>(参考)

2 H 0 4 9

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 55 頁)

(21) 出願番号 特願2002-113478(P2002-113478)

(22) 出願日 平成14年4月16日(2002.4.16)

(31) 優先権主張番号 特願2001-203448(P2001-203448)

(32) 優先日 平成13年7月4日(2001.7.4)

(33) 優先権主張国 日本(J P)

(31) 優先権主張番号 特願2001-251747(P2001-251747)

(32) 優先日 平成13年8月22日(2001.8.22)

(33) 優先権主張国 日本(J P)

(31) 優先権主張番号 特願2001-251748(P2001-251748)

(32) 優先日 平成13年8月22日(2001.8.22)

(33) 優先権主張国 日本(J P)

(71) 出願人 000003964

日東電工株式会社

大阪府茨木市下穂積1丁目1番2号

(72) 発明者 片山 茂

大阪府茨木市下穂積1丁目1番2号 日東  
電工株式会社内

(72) 発明者 堀池 美華

大阪府茨木市下穂積1丁目1番2号 日東  
電工株式会社内

(74) 代理人 100101362

弁理士 後藤 幸久

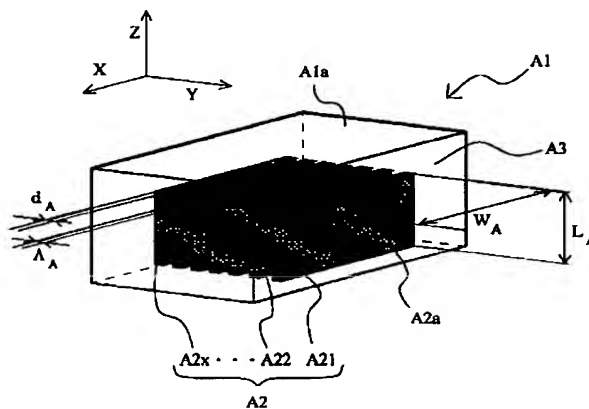
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラスチック透過型回折格子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高い回折効率を有しているとともに、容易に製造することができるプラスチック透過型回折格子及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 プラスチック透過型回折格子は、プラスチック構造体の内部に、屈折率が変化した複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子であって、複数の屈折率変化部が互いに平行である、または、隣接する屈折率変化部の間隔が一方の側から他方の側にかけ変化していることを特徴とする。前記屈折率変化部は、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体に照射することにより形成されていてもよい。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 プラスチック構造体の内部に、屈折率が変化した複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子であって、複数の屈折率変化部が互いに平行である、または、隣接する屈折率変化部の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化していることを特徴とするプラスチック透過型回折格子。

【請求項2】 屈折率変化部が、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体に照射することにより形成されている請求項1記載のプラスチック透過型回折格子。

【請求項3】 一方の側から他方の側にかけて変化している複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子であって、隣接する屈折率変化部間の間隔における最小間隔 $\Lambda_{\min}$ と最大間隔 $\Lambda_{\max}$  ( $=\Lambda_{\min} + \Delta\Lambda$ )との差 $\Delta\Lambda$ が、 $0.01 \times \Lambda_{\min} \sim 5 \times \Lambda_{\min}$ である請求項1又は2記載のプラスチック透過型回折格子。

【請求項4】 屈折率が変化した互いに平行な複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子であって、互いに平行な複数の屈折率変化部を有するとともに、前記屈折率変化部に対して交差し且つ互いに平行な複数の屈折率変化部を有している請求項1又は2記載のプラスチック透過型回折格子。

【請求項5】 屈折率が変化した互いに平行な複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子であって、互いに平行な複数の屈折率変化部を形成した後、前記屈折率変化部間の平行間隔が変化するようにプラスチック構造体を変形させることにより、互いに平行な複数の屈折率変化部が形成されている請求項1又は2記載のプラスチック透過型回折格子。

【請求項6】 屈折率が変化した互いに平行な複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子であって\*

$$\text{一次の回折効率 } \eta_1 = (\text{一次の回折光強度}) / (\text{入射光強度}) \quad (2)$$

【請求項11】 隣接する屈折率変化部間の間隔が、 $50 \mu\text{m}$ 以下である請求項1～10の何れかの項に記載のプラスチック透過型回折格子。

【請求項12】 屈折率変化部の対向する面の奥行き長さが、 $3 \mu\text{m}$ 以上である請求項1～11の何れかの項に記載のプラスチック透過型回折格子。

【請求項13】 屈折率変化部の厚みが、屈折率変化部間の間隔 $\Lambda$ または最小間隔 $\Lambda_{\min}$ の $1/3$ 以上である請求項1～12の何れかの項に記載のプラスチック透過型回折格子。

【請求項14】 パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせて照射して、前記請求項1～13の何れかの項に記載のプラスチック透過型回折格子を製造する方法。

【請求項15】 パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせるとともに、その焦点位置を、該焦点位置の移動により形成され

\* て、互いに平行な複数の屈折率変化部を有する格子群を複数有し、且つ前記複数の格子群がそれぞれ層状に形成されているとともに、各格子群中の互いに平行な複数の屈折率変化部における互いに対向している面の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となっている請求項1又は2記載のプラスチック透過型回折格子。

【請求項7】 プラスチック構造体の内部に、屈折率が変化した複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子であって、屈折率変化部が、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体に1光束又は2光束干渉で照射することにより形成されている請求項2～6の何れかの項に記載のプラスチック透過型回折格子。

【請求項8】 プラスチック構造体の内部に、屈折率が変化した複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子であって、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーを照射したプラスチック構造体の部位に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをさらに1回以上再照射して、屈折率をさらに変調させることにより、屈折率が変化した複数の屈折率変化部が形成されている請求項2～7の何れかの項に記載のプラスチック透過型回折格子。

【請求項9】 下記式(1)で表される無次元数 $Q$ が、 $Q > 1$ の関係の有している請求項1～8の何れかの項に記載のプラスチック透過型回折格子。

$$Q = 2\pi\lambda L / n\Lambda^2 \quad (1)$$

(式(1)において、 $\Lambda$ は隣接した屈折率変化部間の間隔、 $L$ は複数の屈折率変化部の対向する面の奥行き長さ、 $\lambda$ は回折される光の波長、 $n$ は屈折率未変化部の屈折率である。)

【請求項10】 下記式(2)で表される一次の回折効率 $\eta_1$ が $0.05$ 以上である請求項1～9の何れかの項に記載のプラスチック透過型回折格子。

る屈折率変化部が互いに平行な複数のものができるように移動させて照射することにより、屈折率が変化した互いに平行な複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子を製造する請求項14記載のプラスチック透過型回折格子の製造方法。

【請求項16】 パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせて照射して互いに平行な複数の屈折率変化部を形成した後、前記屈折率変化部間の平行間隔が変化するようにプラスチック構造体を変形させることにより、屈折率が変化した互いに平行な複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子を製造する請求項15記載のプラスチック透過型回折格子の製造方法。

【請求項17】 互いに平行な複数の屈折率変化部を有するプラスチック構造体の変形が、熱及び/又は圧力による収縮である請求項16記載のプラスチック透過型回折格子の製造方法。

【請求項18】 パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせるとともに、その焦点位置を、該焦点位置の移動により形成される屈折率変化部間の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化するように移動させて照射することにより、隣接する屈折率変化部間の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化しているプラスチック透過型回折格子を製造する請求項14記載のプラスチック透過型回折格子の製造方法。

【請求項19】 パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせて照射して複数の屈折率変化部を形成した後、該屈折率変化部間の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化するようにプラスチック構造体を変形させることにより、隣接する屈折率変化部間の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化しているプラスチック透過型回折格子を製造する請求項14記載のプラスチック透過型回折格子の製造方法。

【請求項20】 パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせるとともに、その焦点位置を、該焦点位置の移動により形成される屈折率変化部が互いに平行な複数のものと、前記屈折率変化部に対して交差し且つ互いに平行な複数のものとができるように移動させて照射することにより、互いに平行な複数の屈折率変化部を有するとともに、前記屈折率変化部に対して交差し且つ互いに平行な複数の屈折率変化部を有しているプラスチック透過型回折格子を製造する請求項14記載のプラスチック透過型回折格子の製造方法。

【請求項21】 パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせるとともに、その焦点位置を、該焦点位置の移動により形成される屈折率変化部を互いに平行に複数有している格子群がそれぞれ層状となるように、且つ各格子群中の互いに平行な複数の屈折率変化部における互いに対向している面の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となるように、移動させて照射することにより、互いに平行な複数の屈折率変化部を有する格子群を複数有し、且つ前記複数の格子群がそれぞれ層状に形成されているとともに、各格子群中の互いに平行な複数の屈折率変化部における互いに対向している面の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となっているプラスチック透過型回折格子を製造する請求項14記載のプラスチック透過型回折格子の製造方法。

【請求項22】 パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーを1光束または2光束干渉でプラスチック構造体に照射して、屈折率変化部を形成する請求項14～21の何れかの項に記載のプラスチック透過型回折格子の製造方法。

【請求項23】 パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーを照射したプラスチック構造体の部位に、パルス幅が1

$10^{-12}$ 秒以下のレーザーをさらに1回以上再照射して、屈折率をさらに変調させる請求項14～22の何れかの項に記載のプラスチック透過型回折格子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レーザーの照射によりプラスチック構造体の内部の屈折率が部分的に変化されてなる格子を有するプラスチック透過型回折格子、及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、プラスチック構造体（部品）の表面や内部を高機能化する要求が高まってきている。このような高機能化の要求に対して、プラスチック構造体自身をポリマーアロイ化又は複合化する材料面での技術対応と、要求に合わせて機能部位を組み込んだり、構造の制御を行ったりする加工面での技術対応との2つの面での取り組みが行われている。例えば、プラスチック構造体の表面の高機能化・高性能化では、表面の化学的、電気的、光学的、物理的等の特性改良・改質を目的に、材料、加工両面から色々と技術的な取り組みがなされている。また、プラスチック構造体の内部（バルク）の高機能化・高性能化では、電気や光の伝導性、光の透過性又は遮断性、水分やガスの透過性又は遮断性、熱・光・応力等の外部刺激に対する応答性又は記憶性などの様々な特性の要求に対応して、材料・加工面の両面から種々の技術的な取り組みがなされている。具体的には、プラスチック構造体の内部に、元のプラスチック内部の構造と異なった構造部位を形成する方法（技術）として、熱を加えることにより相分離（組成変化）、再結晶化（密度や結晶化度の変化）や熱反応を生じさせる方法、圧力や応力を加えることにより分子配向（配向度、光学的・機械的異方性）を促進したり電気的・光学的変化を促進したりする方法、光を照射することにより光反応（電気的・化学結合反応）・光架橋（架橋や硬化）・光分解（結合の開裂）などを生じさせる方法が検討されてきている。このような方法（技術）の中で、熱や圧力などは、プラスチック構造体全体に作用させる場合が多く、プラスチック構造体内部における任意の場所（部位）に限定して作用させ、元のプラスチック構造体内部と異なる構造を有する内部に形成するのは不向きである。一方、光は、本質的に、プラスチック構造体内部の任意の場所への作用させることに適した手段であり、より微細な構造制御による高機能化・高性能化の技術のトレンドに貢献できる可能性がある。

【0003】一方、レーザー光源に対する技術進歩は著しく、特に、パルスレーザーでは、ナノ秒（ $10^{-9}$ 秒）のオーダーのパルス幅から、ピコ秒（ $10^{-12}$ 秒）のオーダーのパルス幅へと超短パルス化が進んでおり、更に最近では、チタン・サファイア結晶などをレーザー媒質とするフェムト秒（ $10^{-15}$ 秒）のオーダーのパルス幅



を有するパルスレーザーなども開発されてきている。パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である(例えば、パルス幅がフェムト秒のオーダーである)超短パルスレーザー又はそのシステムは、通常のレーザーが持つ、指向性、空間的・時間的なコヒーレントなどの特徴を有するとともに、パルス幅が極めて狭いことから、同じ平均出力であっても、単位時間・単位空間当たりの電場強度が極めて高いという特徴を有している。そのため、この高い電場強度を利用して、超短パルスレーザーを物質中に照射して新たな構造(誘起構造)を形成させる試みが、無機ガラス

【0004】また、高分子材料であるアモルファス・プラスチック等は、無機ガラス材料と比較して、ガラス転移温度が低い。これは、無機ガラス材料が共有結合で三次元的に結合してアモルファス構造が形成されているのに対して、高分子材料は、一次元的に共有結合で繋がった高分子鎖が三次元的に絡み合っ

【0005】一方で、高分子材料は、熱伝導性が低いという特徴を有しており、蓄熱し易い傾向がある。すなわち、高分子材料は熱運動が無機ガラス材料に比べて容易に起こり、運動や反応に必要な熱量が少なく済むので、無機ガラス材料に比べて、比較的低い照射エネルギーでも誘起構造が形成される可能性がある。しかし、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である(例えば、パルス幅がフェムト秒のオーダーである)超短パルスレーザーの単位時間・単位空間当たりの電場強度が極めて高いため、レーザーの照射による高分子材料の損傷が起こりやす

【0006】一方、光学素子の一例として、光の回折現象を利用して光の進行する方向を任意に変える目的で使

望する方向に出来るだけ高いエネルギーを保って出射することが望まれている。そのエネルギーの保持する割合は、(所望する方向での出射光強度)/(入射光強度)で定義される回折効率( $\eta$ )の大き

【0007】また、回折効率( $\eta$ )を低下させる他の要因としては、所望する方向以外の回折が起こることが挙げられる。一般に、回折には、図18(a)で示されるような一次の回折のみを起こすBragg回折と、図18(b)で示されるような一次を含めて高次の回折まで起こすRaman-Nath回折がある。図18は回折格子中を透過する光が回折を起こす状態を示す概略図であり、図18(a)はBragg回折を示し、図18(b)はRaman-Nath回折を示している。Bragg回折の場合、図18(a)で示されるように、入射角 $\theta_1$ で入射した光は、透過光(ゼロ次の回折)と、 $\theta_2 = \theta_1$ を満足する方向の一次回折光が回折格子から出射される。一方、Raman-Nath回折の場合、図18(b)で示されるように、ゼロ次回折( $n_0$ )および一次回折光( $n_1$ )以外に、高次の回折光( $n_2$ 、 $n_3$ 、 $n_4$ など)が回折格子から出射される。

【0008】このように、Raman-Nath回折は入射エネルギーが多く

【0009】従来の透過型回折格子の作製方法は、上述の様に、十分に大きい回折効率( $\eta$ )を確保するために、Braggタイプの回折が起こる様に、回折格子が使用される光の波長 $\lambda$ に合わせて $L$ 、 $n$ 、 $\Lambda$ を設計し、設計仕様に適した材料を準備して、気泡や界面による内部散乱などが生じないように精密に平行関係を保ちながら格子を積層することにより行われており、Custom-Made(あつらえ)の製造方法である。すなわち、従来の製造方法は、高い精度が要求される難しい製造方法である。また、材質的には、無機ガラスなどが用いられているため、透過型回折格子の重量は、重く、軽

量化や小型化が望まれている。なお、軽量で柔軟性・屈曲性・強靱性に優れたプラスチック材料は、光学部品の軽量化や小型化の要請にも適合出来る可能性を有している。

【0010】また、回折格子以外の他の光学素子として、光導波路は平面状、埋め込み型、ストリップ型やレンズ型の形状を有しており、高屈折率部材の中に低屈折率部材が挟み込まれた形状を有している。このように、光導波路等の他の光学素子も、高屈折率部材と低屈折率部材とが組み合わされた形態を有しており、高屈折率部材と低屈折率部材との屈折率差が、光学素子としての機能に寄与している。

#### 【0011】

【発明が解決しようとする課題】従って、本発明の目的は、高い回折効率を有しているとともに、容易に製造することができるプラスチック透過型回折格子及びその製造方法を提供することにある。本発明の他の目的は、プラスチック構造体の内部における任意の部位に、透過型回折格子として利用可能な誘起構造が形成されたプラスチック透過型回折格子及びその製造方法を提供することにある。本発明のさらに他の目的は、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザーの照射により、高い回折効率を有する実用性が優れているプラスチック透過型回折格子及びその製造方法を提供することにある。

【0012】また、前述のように、従来の透過型回折格子では、Braggタイプの回折が起こる様に、光の波長 $\lambda$ に合わせて、 $L$ 、 $n$ 、 $\Lambda$ を設計して最適化している。そのため、ある1つの透過型回折格子は、特定の波長を有する光に対して最適化されており、他の波長を有する光に対しては最適化されておらず、他の波長を有する光に対しては他の透過型回折格子が通常用いられている。従って、本発明の目的は、高い回折効率を有しているとともに、容易に製造することができ、しかも、最適な出力で回折することができる光が特定の波長に限定されないプラスチック透過型回折格子及びその製造方法を提供することにある。本発明の他の目的は、プラスチック構造体の内部における任意の部位に、透過型回折格子として利用可能な誘起構造が形成されているとともに、入射光の入射位置を調整するだけで出射光の出力を最適化することが可能なプラスチック透過型回折格子及びその製造方法を提供することにある。本発明のさらに他の目的は、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザーの照射により作製され、ある特定の波長を有する光のみではなく、他の波長を有する光に対しても高い回折効率を有する実用性が優れているプラスチック透過型回折格子及びその製造方法を提供することにある。

【0013】さらにまた、従来の透過型回折格子では、格子は互いに平行となっており、交差しているものではなく、特に格子が交差してなるプラスチック透過型回折格子は製造されていない。従って、本発明の目的は、高い

回折効率を有しているとともに、容易に製造することができ、しかも、互いに平行な複数の屈折率変化部とともに、該屈折率変化部に対して交差し且つ互いに平行な複数の屈折率変化部を有しているプラスチック透過型回折格子及びその製造方法を提供することにある。本発明の他の目的は、プラスチック構造体の内部における任意の部位に、透過型回折格子として利用可能な誘起構造が形成されているとともに、該誘起構造が格子状に形成されているプラスチック透過型回折格子及びその製造方法を提供することにある。本発明のさらに他の目的は、さらに、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザーの照射により作製され、高い回折効率を有する実用性が優れているプラスチック透過型回折格子及びその製造方法を提供することにある。

【0014】また、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーの照射により、プラスチック構造体の内部に、屈折率が変化した互いに平行な複数の屈折率変化部が形成されたプラスチック透過型回折格子では、屈折率変化部間の平行間隔 $\Lambda$ を精度よく小さくするには限度がある。また、より一層小さな平行間隔 $\Lambda$ を有する屈折率変化部間を形成することができる方法として、2方向から光を照射し、その交点に屈折率変化部を形成する2光束干渉方法を利用する方法もあるが、該方法では回折格子のできる領域がプラスチック構造体の内部において狭いという問題がある。従って、本発明の目的は、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザーの照射により、高い回折効率を有しているプラスチック透過型回折格子を容易に製造することができ、しかも、プラスチック透過型回折格子の格子のピッチ間隔を容易に調整することができるプラスチック透過型回折格子の製造方法、及び該製造方法によるプラスチック透過型回折格子を提供することにある。本発明の他の目的は、プラスチック構造体の内部における任意の部位に、透過型回折格子として利用可能な誘起構造が形成されているとともに、プラスチック透過型回折格子の格子のピッチ間隔を優れた精度でより一層小さくすることができるプラスチック透過型回折格子の製造方法、及び該製造方法によるプラスチック透過型回折格子を提供することにある。

【0015】さらにまた、従来では格子は互いに平行となっており、互いに平行な複数の格子を有する格子群がそれぞれ層状に形成され、さらには各格子群中の互いに平行な複数の屈折率変化部における互いに対向している面の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となっているプラスチック透過型回折格子は製造されていない。従って、本発明の目的は、互いに平行な複数の屈折率変化部を有する格子群がそれぞれ層状に形成されているプラスチック透過型回折格子及びその製造方法を提供することにある。本発明の他の目的は、互いに平行な複数の屈折率変化部を有する格子群がそれぞれ層状に形成されているとともに、各格子群中の互いに平行な複数の

10

20

30

40

50

屈折率変化部における互いに対向している面の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となっているプラスチック透過型回折格子及びその製造方法を提供することにある。

【0016】特に、前述のような、互いに平行な複数の格子を有する格子群がそれぞれ層状に形成され、さらには各格子群中の互いに平行な複数の屈折率変化部における互いに対向している面の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となっているプラスチック透過型回折格子において、屈折率変化部の大きさが小さい（例えば、奥行き長さが短い）と、積層する際にコンパクトにすることができるという利点がある。従って、本発明の目的は、互いに平行な複数の屈折率変化部を有する格子群がそれぞれ層状に形成され、且つ格子の大きさが小さいプラスチック透過型回折格子を容易に製造することができるプラスチック透過型回折格子の製造方法、及び該製造方法によるプラスチック透過型回折格子を提供することにある。本発明の他の目的は、互いに平行な複数の屈折率変化部を有する格子群がそれぞれ層状に形成されているとともに、各格子群中の互いに平行な複数の屈折率変化部における互いに対向している面の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となっており、さらに格子の大きさが小さいプラスチック透過型回折格子の製造方法、及び該製造方法によるプラスチック透過型回折格子を提供することにある。

【0017】また、前述のように、高屈折率部材と低屈折率部材との屈折率差が、光学素子としての機能に寄与しており、前記屈折率差を大きくすることができるプラスチック光学素子を製造する方法が求められている。従って、本発明の目的は、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザーの照射により、プラスチック構造体の内部における任意の部位に、光学素子として利用可能な誘起構造部が形成され、しかも該誘起構造部の屈折率の変調度合いが大きいプラスチック光学素子を製造することができる方法を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、上記の目的を達成するため鋭意検討した結果、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザーを、プラスチック構造体の内部の部位に焦点を合わせて照射すると、プラスチック構造体の内部において、前記パルスレーザーにより照射された部位及びその周辺部の屈折率が変化し、この屈折率変化部を回折格子として利用することができることを見出した。

【0019】さらに、特定の照射方法によりパルスレーザーを照射すると、屈折率変化部間の間隔が一方の側から他方の側にかけて連続的に変化させることができ、しかも1つのプラスチック透過型回折格子により、入射位置を調整するだけで、ある特定の波長のみではなく、他の波長を有する光に対しても、その出力を最適化すること

とができることを見出した。

【0020】すなわち、本発明は、プラスチック構造体の内部に、屈折率が変化した複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子であって、複数の屈折率変化部が互いに平行である、または、隣接する屈折率変化部の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化していることを特徴とするプラスチック透過型回折格子を提供する。前記屈折率変化部は、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体に照射することにより形成されていてもよい。

【0021】なお、一方の側から他方の側にかけて変化している複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子において、隣接する屈折率変化部間における最小間隔 $\Lambda_{\min}$ と最大間隔 $\Lambda_{\max}$ （ $=\Lambda_{\min} + \Delta\Lambda$ ）との差 $\Delta\Lambda$ は、 $0.01 \times \Lambda_{\min} \sim 5 \times \Lambda_{\min}$ であることが好ましい。

【0022】また、本発明者らは、特定の照射方法によりパルスレーザーを照射すると、互いに平行な複数の屈折率変化部とともに、前記屈折率変化部に対して交差し且つ互いに平行な複数の屈折率変化部を形成することができることを見出した。すなわち、本発明は、屈折率が変化した互いに平行な複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子であって、互いに平行な複数の屈折率変化部を有するとともに、前記屈折率変化部に対して交差し且つ互いに平行な複数の屈折率変化部を有しているプラスチック透過型回折格子を提供する。

【0023】また、本発明者らは、該屈折率変化部を有するプラスチック構造体を変形させることにより、屈折率変化部間の平行間隔をコントロールすることができることを見出した。すなわち、本発明は、屈折率が変化した互いに平行な複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子であって、互いに平行な複数の屈折率変化部を形成した後、前記屈折率変化部間の平行間隔が変化するようにプラスチック構造体を変形させることにより、互いに平行な複数の屈折率変化部が形成されているプラスチック透過型回折格子を提供する。

【0024】また、本発明者らは、特定の照射方法によりパルスレーザーを照射すると、互いに平行な複数の屈折率変化部を有する格子群をそれぞれ層状に形成することができ、しかも各格子群中の互いに平行な複数の屈折率変化部における互いに対向している面の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となるように形成することができることを見出した。すなわち、本発明は、屈折率が変化した互いに平行な複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子であって、互いに平行な複数の屈折率変化部を有する格子群を複数有し、且つ前記複数の格子群がそれぞれ層状に形成されているとともに、各格子群中の互いに平行な複数の屈折率変化部における互いに対向している面の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となっているプラスチック透過型回

折格子を提供する。

【0025】また、本発明者は、さらに、2方向から光を照射し、その交点に屈折率変化部を形成する2光束干渉方法を利用してパルスレーザーを照射すると、1光束で照射する場合よりも、さらに屈折率変化部の奥行き長さを短くすることができることを見出した。すなわち、本発明は、前記プラスチック構造体の内部に、屈折率が変化した複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子であって、屈折率変化部が、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体に1光束又は2光束干渉で照射することにより形成されているプラスチック透過型回折格子を提供する。

【0026】また、本発明者は、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザーを、プラスチック構造体の内部の部位に焦点を合わせて照射し、さらに同一の部位に1回以上再照射すると、プラスチック構造体の内部において、前記パルスレーザーにより照射された部位及びその周辺部の屈折率がさらに大きく変化することを\*

一次の回折効率 $\eta_1 = (\text{一次の回折光強度}) / (\text{入射光強度})$  (2)

【0029】さらに、隣接する屈折率変化部間の間隔が、 $50\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、屈折率変化部の対向する面の奥行き長さが、 $3\mu\text{m}$ 以上であることが好ましく、屈折率変化部の厚みが、屈折率変化部間の間隔 $\Lambda$ または最小間隔 $\Lambda_{\min}$ の $1/3$ 以上であることが好ましい。

【0030】本発明には、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせて照射して、前記プラスチック透過型回折格子を製造する方法も含まれる。なお、本発明者は、屈折率が変化した互いに平行な複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子を製造する際に、さらに、該屈折率変化部を有するプラスチック構造体を変形させることにより、屈折率変化部間の平行間隔をコントロールすることができることを見出した。

【0031】前記プラスチック透過型回折格子の製造方法としては、

(A) パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせるとともに、その焦点位置を、該焦点位置の移動により形成される屈折率変化部が互いに平行な複数のものができるように移動させて照射することにより、またはパルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせて照射して互いに平行な複数の屈折率変化部を形成した後、前記屈折率変化部間の平行間隔が変化するようにプラスチック構造体を変形させることにより（該方法では、互いに平行な複数の屈折率変化部を有するプラスチック構造体の変形が、熱及び／又は圧力による収縮であることが好適である）、屈折率が変化した互いに平行な複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子を製造する方法

\* 見出した。すなわち、本発明は、プラスチック構造体の内部に、屈折率が変化した複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子であって、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーを照射したプラスチック構造体の部位に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをさらに1回以上再照射して、屈折率をさらに変調させることにより、屈折率が変化した複数の屈折率変化部が形成されているプラスチック透過型回折格子を提供する。

【0027】本発明では、下記式(1)で表される無次元数 $Q$ が、 $Q > 1$ の関係を有していることが望ましい。 $Q = 2\pi\lambda L / n\Lambda^2$  (1)

(式(1)において、 $\Lambda$ は隣接した屈折率変化部間の間隔、 $L$ は複数の屈折率変化部の対向する面の奥行き長さ、 $\lambda$ は回折される光の波長、 $n$ は屈折率未変化部の屈折率である。)

【0028】また、本発明では、下記式(2)で表される一次の回折効率 $\eta_1$ が0.05以上であることが望ましい。

一次の回折効率 $\eta_1 = (\text{一次の回折光強度}) / (\text{入射光強度})$  (2)

(B) パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせるとともに、その焦点位置を、該焦点位置の移動により形成される屈折率変化部間の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化するように移動させて照射することにより、または、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせて照射して複数の屈折率変化部を形成した後、該屈折率変化部間の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化するようにプラスチック構造体を変形させることにより、隣接する屈折率変化部間の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化しているプラスチック透過型回折格子を製造する方法

(C) パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせるとともに、その焦点位置を、該焦点位置の移動により形成される屈折率変化部が互いに平行な複数のものと、前記屈折率変化部に対して交差し且つ互いに平行な複数のものができるように移動させて照射することにより、互いに平行な複数の屈折率変化部を有するとともに、前記屈折率変化部に対して交差し且つ互いに平行な複数の屈折率変化部を有しているプラスチック透過型回折格子を製造する方法

(D) パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせるとともに、その焦点位置を、該焦点位置の移動により形成される屈折率変化部を互いに平行に複数有している格子群がそれぞれ層状となるように、且つ各格子群中の互いに平行な複数の屈折率変化部における互いに対向している面の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となるように、移動させて照射することにより、互いに平行な複数の屈折率変化部を有する格子群を複数有し、且つ前記複数の格子群がそれぞれ層状に形成されているとともに、各格子群

中の互いに平行な複数の屈折率変化部における互いに対向している面の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となっているプラスチック透過型回折格子を製造する方法などを採用することができる。

【0032】本発明者らは、さらに、2方向から光を照射し、その交点に屈折率変化部を形成する2光束干渉方法を利用してパルスレーザーを照射すると、互いに平行な複数の屈折率変化部を有する格子群をそれぞれ層状に形成することができ、しかも各格子群中の互いに平行な複数の屈折率変化部における互いに対向している面の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となるように形成することができ、さらに屈折率変化部の奥行き長さを短くすることができることを見出した。すなわち、本発明の製造方法では、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーを1光束または2光束干渉でプラスチック構造体に照射して、屈折率変化部を形成する製造方法を提供する。

【0033】また、本発明者らは、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザーを、プラスチック構造体の内部の部位に焦点を合わせて照射し、さらに同一の部位に1回以上再照射すると、プラスチック構造体の内部において、前記パルスレーザーにより照射された部位及びその周辺部の屈折率がさらに大きく変化することを見出した。すなわち、本発明の製造方法では、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーを照射したプラスチック構造体の部位に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをさらに1回以上再照射して、屈折率をさらに変調させる製造方法を提供する。

#### 【0034】

【発明の実施の態様】以下に、本発明を必要に応じて図面を参照しつつ詳細に説明する。なお、同一の部材については、同一の符号を付している場合がある。

#### 【0035】[プラスチック透過型回折格子]

(プラスチック透過型回折格子A) 図1は本発明のプラスチック透過型回折格子の一例を示す概略鳥瞰図である。具体的には、図1は、屈折率が変化した互いに平行な複数の屈折率変化部を有するプラスチック透過型回折格子(「プラスチック透過型回折格子A」と称する場合がある)の一例を示している。図1において、A1はプラスチック透過型回折格子、A1aは光が入射する入射面(上面)、A21、A22、 $\dots$ 、A2xはそれぞれ屈折率変化部(回折格子)、A2aは屈折率変化部(A21、A22、 $\dots$ 、A2x)の対向する面、A3は屈折率未変化部である。なお、屈折率変化部(A21、A22、 $\dots$ 、A2x)を屈折率変化部A2と総称する場合がある。また、 $\Lambda_k$ は隣接した屈折率変化部(A21、A22、 $\dots$ 、A2x)間の間隔(平行間隔;ピッチ間隔)、 $L_k$ は屈折率変化部(A21、A22、 $\dots$ 、A2x)の対向する面A2aの奥行き長さ、 $d_k$ は屈折率変化部(A21、A22、 $\dots$ 、A2x)の厚み

を示す。また、 $W_k$ は屈折率変化部(A21、A22、 $\dots$ 、A2x)の対向する面A2aの幅を示す。

【0036】図1に係るプラスチック透過型回折格子A1は、略直方体であり、その上面は、X-Y平面に対して平行(又はZ軸に対して垂直)となっている。このプラスチック透過型回折格子A1は、互いに平行な複数の屈折率変化部A2を有している。該屈折率変化部A2は、略直方体であり、屈折率変化部A2の対向する面A2aは、X-Z面に対して平行(又はY軸に対して垂直)となっている。該屈折率変化部A2は、屈折率(n)を有するプラスチック構造体の内部における特定の部位に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーの焦点を合わせて照射することにより、屈折率が変化した部位である。従って、屈折率変化部A2は、超短パルスレーザーが照射された(レーザーの焦点が合わせられた)レーザー照射部であり、超短パルスレーザー照射前のプラスチック構造体の屈折率(n)と異なる屈折率(n')を有している。一方、屈折率未変化部A3は、超短パルスレーザーが照射されていない(レーザーの焦点が合わせられていない)レーザー未照射部であり、超短パルスレーザー照射前のプラスチック構造体の屈折率(n)と同じ屈折率(n)を有している。

【0037】前記屈折率変化部A2において、隣接した各屈折率変化部(A21、A22、 $\dots$ 、A2x)の間の平行間隔(格子のピッチ間隔) $\Lambda_k$ としては、例えば、 $50\mu\text{m}$ 以下(好ましくは $30\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは $15\mu\text{m}$ 以下)程度であることが望ましい。

【0038】また、各屈折率変化部(A21、A22、 $\dots$ 、A2x)の奥行き長さ $L_k$ としては、 $3\mu\text{m}$ 以上(好ましくは $5\mu\text{m}$ 以上、さらに好ましくは $20\mu\text{m}$ 以上、特に $50\mu\text{m}$ 以上)程度であることが好適である。

【0039】また、各屈折率変化部(A21、A22、 $\dots$ 、A2x)の厚み(格子の厚み) $d_k$ としては、格子のピッチ間隔の $1/3$ 以上(好ましくは $1/2$ 以上)であることが望ましい。

【0040】なお、各屈折率変化部(A21、A22、 $\dots$ 、A2x)の幅 $W_k$ は、入射光の特性等に応じて適宜選択することができる。

【0041】図1では、プラスチック透過型回折格子A1および各屈折率変化部(A21、A22、 $\dots$ 、A2x)は、説明を容易にするために、それぞれ直方体として表現しているが、それぞれ、如何なる形状のものであってもよく、またその大きさも特に制限されない。本発明では、プラスチック透過型回折格子A1としては、略直方体(特に、すべての面が直角で交わっている直方体)の形状を有していることが好ましい。また、各屈折率変化部(A21、A22、 $\dots$ 、A2x)としては、略直方体(特に、すべての面が直角で交わっている直方体)の形状を有していることが好ましい。なお、各屈折率変化部(A21、A22、 $\dots$ 、A2x)の合計数

(すなわち、屈折率変化部A 2に含まれる各屈折率変化部の数)は特に制限されない。

【0042】(プラスチック透過型回折格子B)図2は本発明のプラスチック透過型回折格子の他の例を示す概略鳥瞰図である。具体的には、図2は、隣接する屈折率変化部の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化しているプラスチック透過型回折格子(「プラスチック透過型回折格子B」と称する場合がある)の一例を示している。図2において、B 1はプラスチック透過型回折格子、B 1 aは光が入射する入射面(上面)、B 1 bは下  
10 面、B 1 cは側面、B 1 dは側面B 1 cに対向する側面、B 2 1, B 2 2, ..., B 2 xはそれぞれ屈折率変化部(回折格子)、B 2 aは屈折率変化部(B 2 1, B 2 2, ..., B 2 x)の対向する面、B 3は屈折率未変化部である。なお、屈折率変化部(B 2 1, B 2 2, ..., B 2 x)を屈折率変化部B 2と総称する場合がある。また、 $\Lambda_i$ は隣接した屈折率変化部(B 2 1, B 2 2, ..., B 2 x)間の間隔(ピッチ間隔)であり、 $\Lambda_{\min}$ はピッチ間隔 $\Lambda_i$ の最小間隔、 $\Lambda_{\max}$ はピッチ間隔 $\Lambda_i$ の最大間隔である。なお、 $\Lambda_{\max} = \Lambda_{\min} + \Delta\Lambda$ として表  
20 される。 $L_i$ は屈折率変化部(B 2 1, B 2 2, ..., B 2 x)の対向する面B 2 aの奥行き長さ、 $d_i$ は屈折率変化部(B 2 1, B 2 2, ..., B 2 x)の厚みを示す。また、 $W_i$ は屈折率変化部(B 2 1, B 2 2, ..., B 2 x)の対向する面B 2 aの幅を示す。

【0043】図2に係るプラスチック透過型回折格子B 1は、略直方体であり、その上面は、X-Y平面に対して平行(又はZ軸に対して垂直)となっている。このプラスチック透過型回折格子B 1は、複数の屈折率変化部B 2を有している。該屈折率変化部B 2は、略直方体  
30 である。該屈折率変化部B 2は、屈折率(n)を有するプラスチック構造体の内部における特定の部位に形成された屈折率が変化した部位である。このような屈折率変化部B 2は、例えば、プラスチック構造体の内部に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーの焦点を合わせて、特定の方法により照射することにより形成することができる。図2に係る屈折率変化部B 2は、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーを用いて形成されている。すなわち、屈折率変化部B 2は、超短パルスレーザーが照射された(レーザーの焦点が合わせられ  
40 た)レーザー照射部であり、超短パルスレーザー照射前のプラスチック構造体の屈折率(n)と異なる屈折率(n')を有している。一方、屈折率未変化部B 3は、超短パルスレーザーが照射されていない(レーザーの焦点が合わせられていない)レーザー未照射部であり、超短パルスレーザー照射前のプラスチック構造体の屈折率(n)と同じ屈折率(n)を有している。

【0044】前記屈折率変化部B 2において、隣接した各屈折率変化部(B 2 1, B 2 2, ..., B 2 x)の間  
50 の間隔(格子のピッチ間隔) $\Lambda_i$ は、一方の側(側面B

1 c側)の最小間隔 $\Lambda_{\min}$ から他方の側(側面B 1 d側)の最大間隔 $\Lambda_{\max}$ ( $\Lambda_{\min} = \Lambda_{\min} + \Delta\Lambda$ )まで変化している。このようなピッチ間隔 $\Lambda_i$ の変化は、連続的であってもよく、非連続的であってもよい。なお、本発明では、ピッチ間隔 $\Lambda_i$ の変化は、屈折率変化部の一方の側(端部)から他方の側(端部)に一方に連続的(特に一定の割合で一方に連続的)であることが好ましい。

【0045】より具体的には、屈折率変化部B 2において、隣接した各屈折率変化部(B 2 1, B 2 2, ..., B 2 x)の間隔(格子のピッチ間隔) $\Lambda_i$ (特に、ピッチ間隔 $\Lambda_i$ の最大間隔 $\Lambda_{\max}$ )としては、例えば、 $50\mu\text{m}$ 以下(好ましくは $30\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは $15\mu\text{m}$ 以下)程度であることが望ましい。

【0046】特に、屈折率変化部B 2において、最小間隔 $\Lambda_{\min}$ と、最大間隔 $\Lambda_{\max}$ ( $=\Lambda_{\min} + \Delta\Lambda$ )との差 $\Delta\Lambda$ としては、例えば、 $0.01 \times \Lambda_{\min} \sim 5 \times \Lambda_{\min}$ 程度の範囲から選択することができ、好ましくは $0.01 \times \Lambda_{\min} \sim 3 \times \Lambda_{\min}$ (さらに好ましくは $0.01 \times \Lambda_{\min} \sim 2 \times \Lambda_{\min}$ )である。すなわち、最大間隔 $\Lambda_{\max}$ は、最小間隔 $\Lambda_{\min}$ の1.01~6倍程度の範囲から選択することができる。

【0047】また、屈折率変化部B 2において、ピッチ間隔 $\Lambda_i$ が、最小間隔 $\Lambda_{\min}$ から最大間隔 $\Lambda_{\max}$ にかけて増加している増加割合(特に、一定の割合)としては、例えば、 $\Delta\Lambda/\Lambda_{\min}$ が $0.0001 \sim 0.1$ (好ましくは $0.0001 \sim 0.05$ 、さらに好ましくは $0.0001 \sim 0.03$ )程度である範囲から選択することができる。

【0048】また、各屈折率変化部(B 2 1, B 2 2, ..., B 2 x)の奥行き長さ $L_i$ としては、 $3\mu\text{m}$ 以上(好ましくは $5\mu\text{m}$ 以上、さらに好ましくは $20\mu\text{m}$ 以上、特に $50\mu\text{m}$ 以上)程度であることが好適である。

【0049】また、各屈折率変化部(B 2 1, B 2 2, ..., B 2 x)の厚み(格子の厚み) $d_i$ としては、格子のピッチ間隔における最小間隔 $\Lambda_{\min}$ の $1/3$ 以上(好ましくは $1/2$ 以上)であることが望ましい。

【0050】なお、各屈折率変化部(B 2 1, B 2 2, ..., B 2 x)の幅 $W_i$ は、入射光の特性等に応じて適宜選択することができる。

【0051】図2では、プラスチック透過型回折格子B 1および各屈折率変化部(B 2 1, B 2 2, ..., B 2 x)は、説明を容易にするために、それぞれ直方体として表現しているが、それぞれ、如何なる形状のものであってもよく、またその大きさも特に制限されない。本発明では、プラスチック透過型回折格子B 1としては、略直方体(特に、すべての面が直角で交わっている直方体)の形状を有していることが好ましい。また、各屈折率変化部(B 2 1, B 2 2, ..., B 2 x)としては、略直方体(特に、すべての面が直角で交わっている直方体)の形状を有していることが好ましい。なお、各屈折



率変化部(B21, B22, ..., B2x)の合計数(すなわち、屈折率変化部B2に含まれる各屈折率変化部の数)は特に制限されない。また、このような複数の屈折率変化部は、一方向にその間隔が変化しているため、放射状に形成されていてもよい。すなわち、放射状に間隔が広がった位置関係を有する複数の屈折率変化部が形成されていてもよい。

【0052】(プラスチック透過型回折格子C)図3は本発明のプラスチック透過型回折格子の他の例を示す概略鳥瞰図である。具体的には、図3は、互いに平行な複数の屈折率変化部を有するとともに、前記屈折率変化部に対して交差し且つ互いに平行な複数の屈折率変化部を有しているプラスチック透過型回折格子(「プラスチック透過型回折格子C」と称する場合がある)の一例を示している。図3において、C1はプラスチック透過型回折格子、C1aは光が入射する入射面(上面)、C1bは下面である。C2a1, C2a2, ..., C2axはそれぞれ屈折率変化部(回折格子)であり、これらの屈折率変化部(C2a1, C2a2, ..., C2ax)は、X軸方向と平行な方向で、互いに平行な位置関係で形成されている。また、C2b1, C2b2, ..., C2bxはそれぞれ屈折率変化部(回折格子)であり、これらの屈折率変化部(C2b1, C2b2, ..., C2bx)は、Y軸方向と平行な方向で、互いに平行な位置関係で形成されている。なお、屈折率変化部(C2a1, C2a2, ..., C2ax)を屈折率変化部C2aと総称する場合がある。屈折率変化部(C2b1, C2b2, ..., C2bx)を屈折率変化部C2bと総称する場合がある。屈折率変化部(C2a, C2b)を屈折率変化部C2と総称する場合がある。

【0053】さらにまた、C3は屈折率未変化部である。また、 $\Lambda_c$ は平行に隣接した屈折率変化部C2間の間隔(ピッチ間隔)、 $L_c$ は屈折率変化部C2の奥行き長さ、 $d_c$ は屈折率変化部C2の厚み、 $W_c$ は屈折率変化部C2の幅を示す。

【0054】図3に係るプラスチック透過型回折格子C1は、略直方体であり、その上面は、X-Y平面に対して平行(又はZ軸に対して垂直)となっている。このプラスチック透過型回折格子C1は、複数の屈折率変化部C2を有している。具体的には、屈折率変化部C2において、屈折率変化部(C2a, C2b)は、それぞれ、互いに平行な複数の屈折率変化部からなっており、また、屈折率変化部C2aと屈折率変化部C2bとは互いに交差している。また、該屈折率変化部C2は、略直方体である。該屈折率変化部C2は、屈折率(n)を有するプラスチック構造体の内部における特定の部位に形成された屈折率が変化した部位である。このような屈折率変化部C2は、例えば、プラスチック構造体の内部に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーの焦点を合わせて、特定の方法により照射することにより形成

することができる。図3に係る屈折率変化部C2は、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーを用いて形成されている。すなわち、屈折率変化部C2は、超短パルスレーザーが照射された(レーザーの焦点が合わせられた)レーザー照射部であり、超短パルスレーザー照射前のプラスチック構造体の屈折率(n)と異なる屈折率(n')を有している。一方、屈折率未変化部C3は、超短パルスレーザーが照射されていない(レーザーの焦点が合わせられていない)レーザー未照射部であり、超短パルスレーザー照射前のプラスチック構造体の屈折率(n)と同じ屈折率(n)を有している。

【0055】前記屈折率変化部C2において、隣接した各屈折率変化部(C2a1, C2a2, ..., C2ax)の間隔(格子のピッチ間隔) $\Lambda_c$ 、および隣接した各屈折率変化部(C2b1, C2b2, ..., C2bx)の間隔(格子のピッチ間隔) $\Lambda_c$ としては、例えば、 $50\mu\text{m}$ 以下(好ましくは $30\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは $15\mu\text{m}$ 以下)程度であることが望ましい。

【0056】また、各屈折率変化部(C2a1, C2a2, ..., C2ax, C2b1, C2b2, ..., C2bx)の奥行き長さ $L_c$ としては、 $3\mu\text{m}$ 以上(好ましくは $5\mu\text{m}$ 以上、さらに好ましくは $20\mu\text{m}$ 以上、特に $50\mu\text{m}$ 以上)程度であることが好適である。

【0057】また、各屈折率変化部(C2a1, C2a2, ..., C2ax, C2b1, C2b2, ..., C2bx)の厚み(格子の厚み) $d_c$ としては、格子のピッチ間隔の $1/3$ 以上(好ましくは $1/2$ 以上)であることが望ましい。

【0058】なお、各屈折率変化部(C2a1, C2a2, ..., C2ax, C2b1, C2b2, ..., C2bx)の幅 $W_c$ は、入射光の特性等に応じて適宜選択することができる。

【0059】なお、本発明では、屈折率変化部C2aのピッチ間隔 $\Lambda_c$ と、屈折率変化部C2bのピッチ間隔 $\Lambda_c$ とは、同一であってもよく、異なってもよい。また、同様に、厚み $d_c$ 、奥行き長さ $L_c$ 、幅 $W_c$ 等についても、屈折率変化部C2aと、屈折率変化部C2bとに関して同一であってもよく、異なってもよい。図3では、屈折率変化部C2aと、屈折率変化部C2bとに関して、ピッチ間隔 $\Lambda_c$ 、厚み $d_c$ 、奥行き長さ $L_c$ は、すべて同一となっている。本発明では、ピッチ間隔 $\Lambda_c$ 、厚み $d_c$ 、奥行き長さ $L_c$ に関しては、屈折率変化部C2aと、屈折率変化部C2bとで同一であることが好ましい。

【0060】屈折率変化部C2aと屈折率変化部C2bとは交差している。このような互いに交差している屈折率変化部の交差は、直交していなくてもよいが、図3で示されているように直交していることが好ましい。すなわち、屈折率変化部C2aと屈折率変化部C2bとは、

格子状の形態となるように交差していることが好ましい。従って、本発明では、屈折率変化部C2は格子状に形成されていることが好ましい。

【0061】本発明では、屈折率変化部C2aと屈折率変化部C2bとが交差している部位は、両方の屈折率変化部に属しているとみなすことができる。なお、前記交差している部位は何れか一方の屈折率変化部に属しているとみなしてもよい。

【0062】図3では、プラスチック透過型回折格子C1および各屈折率変化部(C2a1, C2a2, ..., C2ax, C2b1, C2b2, ..., C2bx)は、説明を容易にするために、それぞれ直方体として表現しているが、それぞれ、如何なる形状のものであってもよく、またその大きさも特に制限されない。本発明では、プラスチック透過型回折格子C1としては、略直方体(特に、すべての面が直角で交わっている直方体)の形状を有していることが好ましい。また、各屈折率変化部C2としては、略直方体(特に、すべての面が直角で交わっている直方体)の形状を有していることが好ましい。

【0063】なお、各屈折率変化部(C2a1, C2a2, ..., C2ax)の合計数(すなわち、屈折率変化部C2aに含まれる各屈折率変化部の数)や、各屈折率変化部(C2b1, C2b2, ..., C2bx)の合計数(すなわち、屈折率変化部C2bに含まれる各屈折率変化部の数)は特に制限されない。また、屈折率変化部C2aに含まれる屈折率変化部の数と、屈折率変化部C2bに含まれる屈折率変化部の数とは、同一であってもよく、異なってもよい。

【0064】(プラスチック透過型回折格子D)図4は本発明のプラスチック透過型回折格子の他の例を示す概略鳥瞰図である。具体的には、図4は、互いに平行な複数の屈折率変化部を有する格子群を複数有し、且つ前記複数の格子群がそれぞれ層状に形成されているとともに、各格子群中の互いに平行な複数の屈折率変化部における互いに対向している面の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となっているプラスチック透過型回折格子(「プラスチック透過型回折格子D」と称する場合がある)の一例を示している。図4において、D1はプラスチック透過型回折格子、D1aは光が入射する入射面(上面)、D1bは下面である。D2a1, D2a2, ..., D2axはそれぞれ屈折率変化部(回折格子)であり、これらの屈折率変化部(D2a1, D2a2, ..., D2ax)は、Y軸方向と平行な方向で、互いに平行な位置関係で形成されている。F<sub>D2a</sub>は、屈折率変化部(D2a1, D2a2, ..., D2ax)における互いに対向している面であり、該面F<sub>D2a</sub>の面方向はY-Z平面と平行な方向となっている。D3aは格子群であり、屈折率変化部(D2a1, D2a2, ..., D2ax)を有している。また、D2b1, D2b2, ...

..., D2bxはそれぞれ屈折率変化部(回折格子)であり、これらの屈折率変化部(D2b1, D2b2, ..., D2bx)は、X軸と平行な方向で、互いに平行な位置関係で形成されている。F<sub>D2b</sub>は、屈折率変化部(D2b1, D2b2, ..., D2bx)における互いに対向している面であり、該面F<sub>D2b</sub>の面方向はX-Z平面と平行な方向となっている。D3bは格子群であり、屈折率変化部(D2b1, D2b2, ..., D2bx)を有している。

【0065】さらにまた、D4は屈折率未変化部である。また、Λ<sub>0</sub>は各格子群中の平行に隣接した屈折率変化部D2間の平行間隔(ピッチ間隔)、L<sub>0</sub>は屈折率変化部D2の奥行き長さ、d<sub>0</sub>は屈折率変化部D2の厚み、W<sub>0</sub>は屈折率変化部D2の幅を示す。

【0066】また、図5は本発明のプラスチック透過型回折格子の他の例を示す概略鳥瞰図である。具体的には、図5は、プラスチック透過型回折格子Dの他の例を示している。図5において、D11はプラスチック透過型回折格子、D11aは光が入射する入射面(上面)、D11bは下面である。D2c1, D2c2, ..., D2cxはそれぞれ屈折率変化部(回折格子)であり、これらの屈折率変化部(D2c1, D2c2, ..., D2cx)は、X-Y平面上においてX軸と55°をなす角度の方向で、互いに平行な位置関係で形成されている。F<sub>D2c</sub>は、屈折率変化部(D2c1, D2c2, ..., D2cx)における互いに対向している面であり、該面F<sub>D2c</sub>の面方向はX-Z平面と55°の面角をなす方向となっている。D3cは格子群であり、屈折率変化部(D2c1, D2c2, ..., D2cx)を有している。なお、(D2a1, D2a2, ..., D2ax)、(D2b1, D2b2, ..., D2bx)、F<sub>D2a</sub>、F<sub>D2b</sub>、D4、Λ<sub>0</sub>、L<sub>0</sub>、d<sub>0</sub>、W<sub>0</sub>などは、図4と同様である。

【0067】図4及び5において、屈折率変化部(D2a1, D2a2, ..., D2ax)を屈折率変化部D2aと総称する場合がある。屈折率変化部(D2b1, D2b2, ..., D2bx)を屈折率変化部D2bと総称する場合がある。屈折率変化部(D2c1, D2c2, ..., D2cx)を屈折率変化部D2cと総称する場合がある。また、屈折率変化部(D2a, D2b, D2c, ...)を屈折率変化部D2と総称する場合がある。さらにまた、格子群(D3a, D3b, D3c, ...)を格子群D3と総称する場合がある。各格子群中の屈折率変化部における互いに対向している面(F<sub>D2a</sub>, F<sub>D2b</sub>, F<sub>D2c</sub>, ...)を、面F<sub>D2</sub>と総称する場合がある。

【0068】図4又は5に係るプラスチック透過型回折格子(D1, D11)は、略直方体であり、その上面は、X-Y平面に対して平行(又はZ軸に対して垂直)となっている。このプラスチック透過型回折格子(D



1, D11)は、層状に形成された(積層された)複数の格子群D3を有しており、例えば、プラスチック透過型回折格子D1では、格子群D3a及び格子群D3bがそれぞれ層状に形成されており、また、プラスチック透過型回折格子D11では、格子群D3a、格子群D3b及び格子群D3cがこの順でそれぞれ層状に形成されている。

【0069】該複数の格子群D3における各格子群(D3a, D3b, D3c)は、それぞれ、互いに平行な複数の屈折率変化部(D2a, D2b, D2c)を有して  
10 いるとともに、各格子群(D3a, D3b, D3c)中の屈折率変化部(D2a, D2b, D2c)における互いに対向している面( $F_{D2a}$ ,  $F_{D2b}$ ,  $F_{D2c}$ )の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となっている。具体的には、面 $F_{D2a}$ の面方向と、面 $F_{D2b}$ の面方向とは、異なる方向[これらの面方向間の面角(鋭角)は90°となっている]であり、面 $F_{D2b}$ の面方向と、面 $F_{D2c}$ の面方向とは、異なる方向[これらの面方向間の面角(鋭角)は55°となっている]である。隣接する格子群の間において、面( $F_{D2a}$ ,  $F_{D2b}$ ,  $F_{D2c}$ , ...)の面方向の面角(鋭角)としては、0°でなければ目的とする回折格子に応じて適宜選択することができ、0°より大きく90°以下(例えば、1~90°)の範囲から選択することができる。なお、面角とは、それぞれの面の法線間の角度を意味している。

【0070】また、屈折率変化部D2は、略直方体である。該屈折率変化部D2は、屈折率(n)を有するプラスチック構造体の内部における特定の部位に形成された屈折率が変化した部位である。このような屈折率変化部D2は、例えば、プラスチック構造体の内部に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーの焦点を合わせて、特定の手法により照射することにより形成することができる。図4に係る屈折率変化部D2は、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーを用いて形成されている。すなわち、屈折率変化部D2は、超短パルスレーザーが照射された(レーザーの焦点が合わせられた)レーザー照射部であり、超短パルスレーザー照射前のプラスチック構造体の屈折率(n)と異なる屈折率(n')を有している。一方、屈折率未変化部D4は、超短パルスレーザーが照射されていない(レーザーの焦点が合わせられていない)レーザー未照射部であり、超短パルスレーザー照射前のプラスチック構造体の屈折率(n)と同じ屈折率(n)を有している。

【0071】前記屈折率変化部D2において、各格子群中の隣接した屈折率変化部D2のピッチ間隔 $\Lambda_p$ としては、例えば、50 $\mu\text{m}$ 以下(好ましくは30 $\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは15 $\mu\text{m}$ 以下)程度であることが望ましい。

【0072】また、各格子群中の各屈折率変化部D2の奥行き長さ $L_p$ としては、3 $\mu\text{m}$ 以上(好ましくは5 $\mu$

m以上、さらに好ましくは20 $\mu\text{m}$ 以上、特に50 $\mu\text{m}$ 以上)程度であることが好適である。

【0073】また、各格子群中の各屈折率変化部D2の厚み(格子の厚み) $d_p$ としては、格子のピッチ間隔の1/3以上(好ましくは1/2以上)であることが望ましい。

【0074】なお、各格子群中の各屈折率変化部(D2a1, D2a2, ..., D2ax, D2b1, D2b2, ..., D2bx, D2c1, D2c2, ..., D2cx...)の幅 $W_p$ は、入射光の特性等に応じて適宜選択することができる。

【0075】なお、本発明では、各格子群中の屈折率変化部のピッチ間隔 $\Lambda_p$ は、すべての格子群間で同一であってもよく、各格子群間で異なってもよく、あるいは、一部の格子群間で同一であってもよい。また、同様に、厚み $d_p$ 、奥行き長さ $L_p$ 、幅 $W_p$ 等についても、すべての格子群間で同一であってもよく、各格子群間で異なってもよく、あるいは、一部の格子群間で同一であってもよい。図4や図5では、屈折率変化部(D2a, D2b, D2c, ...)に関して、ピッチ間隔 $\Lambda_p$ 、厚み $d_p$ 、奥行き長さ $L_p$ は、すべて同一となっている。本発明では、ピッチ間隔 $\Lambda_p$ 、厚み $d_p$ 、奥行き長さ $L_p$ に関しては、屈折率変化部(D2a, D2b, D2c, ...)で同一であることが好ましい。

【0076】図4及び5では、プラスチック透過型回折格子(D1, D11)および各屈折率変化部D2は、説明を容易にするために、それぞれ直方体として表現しているが、それぞれ、如何なる形状のものであってもよく、またその大きさも特に制限されない。本発明では、プラスチック透過型回折格子(D1, D11)としては、略直方体(特に、すべての面が直角で交わっている直方体)の形状を有していることが好ましい。また、各屈折率変化部D2としては、略直方体(特に、すべての面が直角で交わっている直方体)の形状を有していることが好ましい。

【0077】なお、各屈折率変化部(D2a1, D2a2, ..., D2ax)の合計数(すなわち、屈折率変化部D2aに含まれる各屈折率変化部の数)などの各格子群(D3a, D3b, D3c, ...)に含まれる屈折率変化部の数は特に制限されない。また、各格子群(D3a, D3b, D3c, ...)に含まれる屈折率変化部の数は、各格子群間で同一であってもよく、異なってもよい。

【0078】さらにまた、格子群の数は特に制限されない。例えば、図4で示されているように格子群の数が2であってもよく、図5で示されているように格子群の数が3であってもよい。本発明では、格子群の数としては、例えば、2~10(好ましくは2~4)程度の範囲から選択してもよい。なお、格子群の数が3以上である場合、各格子群中の互いに平行な複数の屈折率変化部に

おける互いに対向している面 $F_{12}$ の面方向は、隣接する格子群の間で互いに非平行となっていれば、隣接していない格子群の間では非平行、平行のいずれであってもよい。

【0079】層状に形成されている複数の格子群における格子群間の距離（層間距離）は、特に制限されず、例えば、 $5 \sim 100 \mu\text{m}$ 、好ましくは $5 \sim 50 \mu\text{m}$ 程度の範囲から選択することができる。

【0080】従って、本発明のプラスチック透過型回折格子では、隣接する屈折率変化部間の間隔 $\Lambda$ （ $\Lambda_a$ ,  $\Lambda_b$ ,  $\Lambda_c$ ,  $\Lambda_d$ など）（なお、隣接する屈折率変化部の間隔が一定である場合は、平行間隔であり、一方、隣接する屈折率変化部の間隔が一方の側から他方の側にかけ変化している場合は、最大間隔 $\Lambda_{\text{max}}$ であってもよい）は、 $50 \mu\text{m}$ 以下（好ましくは $30 \mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは $15 \mu\text{m}$ 以下）程度の範囲から選択することができる。

【0081】また、屈折率変化部の対向する面の奥行き長さ $L$ （ $L_a$ ,  $L_b$ ,  $L_c$ ,  $L_d$ など）としては、 $3 \mu\text{m}$ 以上（好ましくは $5 \mu\text{m}$ 以上、さらに好ましくは $20 \mu\text{m}$ 以上、特に $50 \mu\text{m}$ 以上）程度の範囲から選択することができる。なお、屈折率変化部の対向する面の奥行き長さ $L$ としては、後述するように、超短パルスレーザーを1光束で照射して屈折率変化部を形成する場合は、 $5 \mu\text{m}$ 以上（好ましくは $20 \mu\text{m}$ 以上）であることが望ましく、多光束干渉（2光束干渉など）により照射して屈折率変化部を形成する場合は、 $3 \mu\text{m}$ 以上（好ましくは $3 \mu\text{m}$ 以上 $20 \mu\text{m}$ 未満）であることが望ましい。

【0082】さらにまた、屈折率変化部の厚み $d$  \*

$$\text{一次の回折効率 } \eta_1 = (\text{一次の回折光強度}) / (\text{入射光強度}) \quad (2)$$

【0088】本発明では、一次の方向の回折効率（ $\eta_1$ ）としては、例えば、 $0.05$ 以上（好ましくは $0.3$ 以上、さらに好ましくは $0.5$ 以上）の範囲から選択することができる。

【0089】このように、本発明のプラスチック透過型回折格子（A1, B1, C1, D1など）において、屈折率変化部（A21, A22, ..., A2x; B21, B22, ..., B2x; C2a1, C2a2, ..., C2ax; C2b1, C2b2, ..., C2bx; D2a1, D2a2, ..., D2ax; D2b1, D2b2, ..., D2bx; D2c1, D2c2, ..., D2cx）は、回折格子としての機能を有している。なお、例えば、プラスチック透過型回折格子A1を回折格子として利用する場合、上面（入射面）A1aを光の入射面とするとともに、屈折率変化部A2の対向する面A2a（XZ平面に対して平行な面）に対して平行な方向（X軸に対して平行な方向およびZ軸に対して平行な方向）以外の方向から光を入射させることにより、回折格子として有効に利用することができる。

【0090】【作製方法】

\*（ $d_a$ ,  $d_b$ ,  $d_c$ ,  $d_d$ など）としては、屈折率変化部間の間隔 $\Lambda$ （ $\Lambda_a$ ,  $\Lambda_b$ ,  $\Lambda_c$ ,  $\Lambda_d$ など）または最小間隔 $\Lambda_{\text{min}}$ の $1/3$ 以上（好ましくは $1/2$ 以上）程度の範囲から選択することができる。

【0083】なお、本発明では、隣接する屈折率変化部間の間隔（ $\Lambda_a$ ,  $\Lambda_b$ ,  $\Lambda_c$ ,  $\Lambda_d$ など）を $\Lambda$ と総称する場合がある。屈折率変化部の対向する面の奥行き長さ（ $L_a$ ,  $L_b$ ,  $L_c$ ,  $L_d$ など）を $L$ と総称する場合がある。屈折率変化部間の間隔（ $\Lambda_a$ ,  $\Lambda_b$ ,  $\Lambda_c$ ,  $\Lambda_d$ など）を $\Lambda$ と総称する場合がある。

【0084】また、本発明では、下記式（1）で表される無次元数 $Q$ が、 $Q > 1$ の関係を有していることが好ましい。

$$Q = 2\pi\lambda L / n\Lambda^2 \quad (1)$$

（式（1）において、 $\Lambda$ は隣接した屈折率変化部間の間隔、 $L$ は複数の屈折率変化部の対向する面の奥行き長さ、 $\lambda$ は回折される光の波長、 $n$ は屈折率未変化部の屈折率である。）

【0085】前記式（1）において、 $Q$ が1を越えていると、Braggタイプの回折が起こり、一次の方向の回折効率（ $\eta_1$ ）を高めることができる。もちろん、 $Q$ は1以下であってもよく、この場合は、Raman-Nathタイプの回折が起こりやすくなり、一次の方向の回折効率（ $\eta_1$ ）が低下する。

【0086】本発明では、 $Q$ は5以上（特に8以上）であることが望ましい。

【0087】一次の方向の回折効率（ $\eta_1$ ）は、下記式（2）で表すことができる。

（プラスチック透過型回折格子Aの作製方法）前記プラスチック透過型回折格子A1は、例えば、図6で示されるように、屈折率（ $n$ ）を有するプラスチック構造体A11の内部における特定の部位に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーA4の焦点を合わせてプラスチック構造体A11の外部から照射することにより、屈折率が変化した屈折率変化部A2を互いに平行に複数形成させて作製することができる。

【0091】図6は本発明のプラスチック透過型回折格子A1を作製する方法の一例を示す概略図である。図6において、A1、A1a、（A21, A22, ..., A2x）、A2、A3は、それぞれ、図1と同様である。A11はプラスチック構造体、A4はパルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザー（単に「レーザー」と称する場合がある）、A4aはレーザーA4の照射方向であり、A5はレンズである。プラスチック構造体A11は、プラスチック透過型回折格子A1を作製するための材料となるものであり、屈折率が $n$ であるプラスチック材料から形成されている。そして、プラスチック構造体A11の内部に屈折率変化部A2が形成された

ものが、プラスチック透過型回折格子A1となる。屈折率変化部A2は、レーザーA4の照射による影響を受けて屈折率が変化した部位であり、隣接する同様の屈折率変化部A2と互いに平行な位置関係を有している。また、屈折率未変化部A3は、レーザーA4の照射による影響を受けておらず、屈折率が変化していない部位であり、元の屈折率（構造）を保持している。すなわち、屈折率未変化部A3は、元の状態又は形態を保持している。従って、プラスチック透過型回折格子A1は、屈折率未変化部A3内に、特定のピッチ間隔を隔てて互いに平行な屈折率変化部A2が複数形成されている形態を有している。

【0092】レーザーA4は、プラスチック構造体A11に向けて、照射方向A4aの向きで（すなわち、Z軸と平行な方向で）照射している。なお、レーザーA4はレンズA5を用いることにより焦点を絞って合わせることができる。従って、レーザーA4の焦点を絞って合わせる必要がない場合などでは、レンズA5を用いる必要がない。

【0093】また、プラスチック構造体A11は略直方体であり、その上面はX-Y平面と平行（またはZ軸と垂直）となっている。なお、プラスチック構造体A11としては、直方体を用いているが、如何なる形状のものであってもよく、その大きさも特に制限されない。

【0094】また、図6において、A61a、A62a、・・・、A6xaはそれぞれレーザーA4の照射を始めたときの焦点を合わせた最初の位置又はその中心位置（「照射開始位置」と称する場合がある）である。照射開始位置（A61a、A62a、・・・、A6xa）は、同一のX-Y面上でかつX軸上の位置が同じであるとともに、Y軸上の位置が異なり、特定の間隔がつけられている。すなわち、照射開始位置（A61a、A62a、・・・、A6xa）は、プラスチック構造体A11の上面A1aから一定の深さに設定され、且つ同一のY軸方向に等間隔の間隔で設けられている。

【0095】一方、A61b、A62b、・・・、A6xbはそれぞれレーザーA4の照射を終えたときの焦点を合わせた最終の位置又はその中心位置（「照射終了位置」と称する場合がある）である。該照射終了位置（A61b、A62b、・・・、A6xb）も、前記照射開始位置（A61a、A62a、・・・、A6xa）と同様に、プラスチック構造体A11の上面A1aから一定の深さに設定され、且つ同一のY軸方向に等間隔の間隔で設けられている。

【0096】A61c、A62c、・・・、A6xcはそれぞれレーザーA4の照射の焦点又はその中心位置（単に「焦点位置」と称する場合がある）が照射開始位置（A61a、A62a、・・・、A6xa）から照射終了位置（A61b、A62b、・・・、A6xb）に移動する移動方向であり、X軸と平行な方向である。A61、

A62、・・・、A6xはそれぞれ照射開始位置（A61a、A62a、・・・、A6xa）のレーザーA4の照射の焦点位置又は焦点の中心位置が移動した軌跡（「焦点位置軌跡」と称する場合がある）である。A7は隣接した照射開始位置（A61a、A62a、・・・、A6xa）間の距離（最短距離）である。

【0097】図6では、レーザーA4の焦点位置を、それぞれ、照射開始位置（A61a、A62a、・・・、A6xa）から照射終了位置（A61b、A62b、・・・、A6xb）にかけて、焦点位置の移動方向（A61c、A62c、・・・、A6xc）の方向で、連続的に直線的に移動させており、該移動した焦点位置の軌跡が焦点位置軌跡（A61、A62、・・・、A6x）となっている。該焦点位置軌跡（A61、A62、・・・、A6x）において、焦点位置が移動した方向（A61c、A62c、・・・、A6xc）は、レーザーA4の照射方向A4aと垂直な方向（図6では、X軸と平行な方向）である。従って、屈折率変化部A2の長手方向は、移動方向（A61c、A62c、・・・、A6xc）の方向である。また、照射開始位置（A61a、A62a、・・・、A6xa）間の距離A7は、照射終了位置（A61b、A62b、・・・、A6xb）間の距離や、焦点位置軌跡（A61、A62、・・・、A6x）間の距離（最短距離）に相当している。従って、隣接した照射開始位置（A61a、A62a、・・・、A6xa）間の距離A7は、格子のピッチ間隔 $\Lambda$ と格子の厚み $d$ とを足した距離（ $\Lambda + d$ ）に相当している。

【0098】より具体的には、まず、照射開始位置A61aから照射終了位置A61bにかけて焦点の移動方向A61cの方向で、レーザーA4の焦点位置を連続的に直線的に移動させて、レーザーの照射を行う。その後、前記照射開始位置A61aと同じX-Y面上にありかつX軸上の位置が同じでY軸上の位置が距離A7だけ移動した位置である焦点開始位置A62aから、前記移動方向A61cと平行な方向である移動方向A62cの方向で、前記照射終了位置A61bと同一のX軸の位置となる照射終了位置A62bまで、レーザーA4の焦点位置を連続的に直線的に移動させて、レーザーの照射を行う。以下、同様にして、順次、レーザーの照射を行うことにより、プラスチック構造体A11の中にピッチ間隔 $\Lambda$ の距離を保って、互いに平行な位置関係を有する複数の屈折率変化部（A21、A22、・・・、A2x）を形成して、回折格子として利用できるプラスチック透過型回折格子A1を作製することができる。

【0099】本発明では、屈折率変化部（A21、A22、・・・、A2x）はそれぞれお互いに平行な位置関係を保つように形成されていればよく、レーザーA4の焦点の位置を、レーザーA4の照射方向A4aに対して、平行な方向や垂直な方向や斜め方向等に移動させることができる。また、本発明では、レーザーA4の焦点位置

10

20

30

40

50

は、連続的又は間欠的に移動させることもできる。この様に、レーザーA4の焦点位置を移動させながら照射することにより、焦点位置の移動方向に連続的に形成された屈折率変化部A2を形成させることができる。

【0100】特に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせて照射して、互いに平行な複数の屈折率変化部を形成した後、該屈折率変化部間の平行間隔が変化するようにプラスチック構造体を変形させることにより、高い回折効率を有し且つ屈折率変化部間の間隔(格子のピッチ間隔)が調整されたプラスチック透過型回折格子(「プラスチック透過型回折格子Aa」と称する場合がある)を作製することができる。

【0101】より具体的には、例えば、図7で示されるように、屈折率(n)を有するプラスチック構造体Aa11の内部における特定の部位に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーの焦点を合わせてプラスチック構造体Aa11の外部から照射して該焦点位置を移動させることにより屈折率が変化した屈折率変化部Aa2を互いに平行に複数形成し、その後、図8で示されるように、プラスチック構造体Aa11の内部に屈折率変化部Aa2aが形成されたプラスチック構造体Aa12を、隣接する屈折率変化部間の平行間隔が変化するように変形(例えば、収縮又は延伸、特に収縮)させることにより、プラスチック透過型回折格子Aa1を作製することができる。

【0102】図7は、プラスチック透過型回折格子Aa1を作製するために、プラスチック構造体の内部に屈折率変化部を作製する方法の一例を示す概略図である。図7において、Aa2a1, Aa2a2, ..., Aa2axは屈折率変化部であり、屈折率変化部(Aa2a1, Aa2a2, ..., Aa2ax)を屈折率変化部Aa2aと総称する場合がある。また、Aa11はプラスチック構造体、Aa12はプラスチック構造体Aa11に屈折率変化部Aa2aが形成された状態のプラスチック構造体、Aa1aはプラスチック構造体Aa11の上面、Aa1bはプラスチック構造体Aa11の下面、Aa3は屈折率未変化部、Aa4はパルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザー(単に「レーザー」と称する場合がある)、Aa4aはレーザーAa4の照射方向であり、Aa5はレンズである。プラスチック構造体Aa11は、プラスチック透過型回折格子Aa1を作製するための材料となるものであり、屈折率がnであるプラスチック材料から形成されている。そして、プラスチック構造体Aa11の内部に屈折率変化部Aa2aが形成されたものが、プラスチック構造体Aa12となる。屈折率変化部Aa2aは、レーザーAa4の照射による影響を受けて屈折率が変化した部位であり、隣接する同様の屈折率変化部Aa2aと互いに平行な位置関係を有している。また、屈折率未変化部Aa3は、レーザーAa4

の照射による影響を受けておらず、屈折率が変化していない部位であり、元の屈折率(構造)を保持している。すなわち、屈折率未変化部Aa3は、元の状態又は形態を保持している。なお、プラスチック構造体Aa11の内部に屈折率変化部Aa2aを形成させた後、該屈折率変化部Aa2a間の平行間隔が変化するように、屈折率変化部Aa2aを有するプラスチック構造体Aa12を変形させたものが、プラスチック透過型回折格子Aa1となる。従って、プラスチック透過型回折格子Aa1は、屈折率未変化部Aa3内に、特定のピッチ間隔を隔てて互いに平行な屈折率変化部Aa2が複数形成されている形態を有している。

【0103】レーザーAa4は、プラスチック構造体Aa11に向けて、照射方向Aa4aの向きで(すなわち、Z軸と平行な方向で)照射している。なお、レーザーAa4はレンズAa5を用いることにより焦点を絞って合わせることができる。従って、レーザーAa4の焦点を絞って合わせる必要がない場合などでは、レンズAa5を用いる必要がない。

【0104】また、プラスチック構造体Aa11は略直方体であり、その上面はX-Y平面と平行(またはZ軸と垂直)となっている。なお、プラスチック構造体Aa11としては、直方体を用いているが、如何なる形状のものであってもよく、その大きさも特に制限されない。

【0105】また、図7において、Aa61a, Aa62a, ..., Aa6xaはそれぞれレーザーAa4の照射を始めたときの焦点を合わせた最初の位置又はその中心位置(「照射開始位置」と称する場合がある)である。照射開始位置(Aa61a, Aa62a, ..., Aa6xa)は、同一のX-Y面上でかつX軸上の位置が同じであるとともに、Y軸上の位置が異なり、特定の間隔がつけられている。すなわち、照射開始位置(Aa61a, Aa62a, ..., Aa6xa)は、プラスチック構造体Aa11の上面Aa1aから一定の深さに設定され、且つ同一のY軸方向に等間隔の間隔で設けられている。

【0106】一方、Aa61b, Aa62b, ..., Aa6xbはそれぞれレーザーAa4の照射を終えたときの焦点を合わせた最終の位置又はその中心位置(「照射終了位置」と称する場合がある)である。該照射終了位置(Aa61b, Aa62b, ..., Aa6xb)も、前記照射開始位置(Aa61a, Aa62a, ..., Aa6xa)と同様に、プラスチック構造体Aa11の上面Aa1aから一定の深さに設定され、且つ同一のY軸方向に等間隔の間隔で設けられている。

【0107】Aa61c, Aa62c, ..., Aa6xcはそれぞれレーザーAa4の照射の焦点又はその中心位置(単に「焦点位置」と称する場合がある)が照射開始位置(Aa61a, Aa62a, ..., Aa6xa)から照射終了位置(Aa61b, Aa62b, ..., A

10

20

30

40

50

a 6 x b) に移動する移動方向であり、X軸と平行な方向である。A a 6 1, A a 6 2, ..., A a 6 xはそれぞれ照射開始位置 (A a 6 1 a, A a 6 2 a, ..., A a 6 x a) のレーザー A a 4 の照射の焦点位置又は焦点の中心位置が移動した軌跡 (「焦点位置軌跡」と称する場合がある) である。A a 7 は隣接した照射開始位置 (A a 6 1 a, A a 6 2 a, ..., A a 6 x a) 間の距離 (最短距離) である。

【0108】図7では、レーザー A a 4 の焦点位置を、それぞれ、照射開始位置 (A a 6 1 a, A a 6 2 a, ..., A a 6 x a) から照射終了位置 (A a 6 1 b, A a 6 2 b, ..., A a 6 x b) にかけて、焦点位置の移動方向 (A a 6 1 c, A a 6 2 c, ..., A a 6 x c) の方向で、連続的に直線的に移動させており、該移動した焦点位置の軌跡が焦点位置軌跡 (A a 6 1, A a 6 2, ..., A a 6 x) となっている。該焦点位置軌跡 (A a 6 1, A a 6 2, ..., A a 6 x) において、焦点位置が移動した方向 (A a 6 1 c, A a 6 2 c, ..., A a 6 x c) は、レーザー A a 4 の照射方向 A a 4 a と垂直な方向 (図7では、X軸と平行な方向) である。従って、屈折率変化部 A a 2 の長手方向は、移動方向 (A a 6 1 c, A a 6 2 c, ..., A a 6 x c) の方向である。また、照射開始位置 (A a 6 1 a, A a 6 2 a, ..., A a 6 x a) 間の距離 A a 7 は、照射終了位置 (A a 6 1 b, A a 6 2 b, ..., A a 6 x b) 間の距離や、焦点位置軌跡 (A a 6 1, A a 6 2, ..., A a 6 x) 間の距離 (最短距離) に相当している。従って、隣接した照射開始位置 (A a 6 1 a, A a 6 2 a, ..., A a 6 x a) 間の距離 A a 7 は、屈折率変化部 A a 2 a 間の平行間隔と屈折率変化部 A a 2 a とを足した距離に相当している。

【0109】より具体的には、まず、照射開始位置 A a 6 1 a から照射終了位置 A a 6 1 b にかけて焦点の移動方向 A a 6 1 c の方向で、レーザー A a 4 の焦点位置を連続的に直線的に移動させて、レーザーの照射を行う。その後、前記照射開始位置 A a 6 1 a と同じ X-Y 面上にありかつ X 軸上の位置が同じで Y 軸上の位置が距離 A a 7 だけ移動した位置である焦点開始位置 A a 6 2 a から、前記移動方向 A a 6 1 c と平行な方向である移動方向 A a 6 2 c の方向で、前記照射終了位置 A a 6 1 b と同一の X 軸の位置となる照射終了位置 A a 6 2 b まで、レーザー A a 4 の焦点位置を連続的に直線的に移動させて、レーザーの照射を行う。以下、同様にして、順次、レーザーの照射を行うことにより、プラスチック構造体 A a 1 1 の中に、一定の平行間隔の距離を保って、互いに平行な位置関係を有する複数の屈折率変化部 (A a 2 a 1, A a 2 a 2, ..., A a 2 a x) を形成して、プラスチック構造体 A a 1 2 を作製することができる。

【0110】そして、屈折率変化部 (A a 2 a 1, A a 2 a 2, ..., A a 2 a x) を有するプラスチック構造

体 A a 1 2 を、該屈折率変化部 A a 2 a 間の平行間隔が変化 (減少又は増大) するように変形させることにより、図1で示されるようなプラスチック透過型回折格子 A a 1 が得られる。このような変形としては、例えば、延伸、収縮を採用することができる。本発明では、屈折率変化部 A a 2 間のピッチ間隔が小さい方が好ましいので、変形としては収縮を好適に採用することができる。プラスチック構造体 A a 1 2 を収縮させて変形させる際には、例えば、プラスチック構造体 A a 1 2 に対して熱及び/又は圧力をかけることができる。この収縮は、圧力を必要とする強制収縮であってもよいが、熱のみによる収縮であることが好ましい。プラスチック構造体 A a 1 2 を熱のみにより収縮させるためには、プラスチック構造体 A a 1 1 として予め延伸されたものを用いることが重要である。このように、予め延伸されているプラスチック構造体 A a 1 1 中に屈折率変化部 A a 2 a を形成してプラスチック構造体 A a 1 2 を作製し、該プラスチック構造体 A a 1 2 を熱により収縮させることにより、プラスチック透過型回折格子 A a 1 を作製する方法としては、例えば、図8に示されているような方法が挙げられる。

【0111】図8はプラスチック透過型回折格子 A a 1 を作製する方法の一例を示す概略図である。図8において、(a) はプラスチック透過型回折格子 A a 1 を作製するための材料となる延伸させたプラスチック構造体 A a 1 1 a を示しており、(b) は (a) に係る延伸させたプラスチック構造体 A a 1 1 a の内部に屈折率変化部 A a 2 a を形成させたプラスチック構造体 A a 1 2 a を示しており、(c) は (b) に係る屈折率変化部 A a 2 a を有する延伸されているプラスチック構造体 A a 1 2 a を収縮させて得られたプラスチック透過型回折格子 A a 1 を示している。

【0112】図8において、A a 1、(A a 2 a 1, A a 2 a 2, ..., A a 2 a x)、A a 2 a、(A a 2 1, A a 2 2, ..., A a 2 x)、A a 2 は、それぞれ、図7と同様である。A a 1 1 a は予め1軸延伸されたプラスチック構造体であり、図7におけるプラスチック構造体 A a 1 1 が予め1軸延伸されているものに相当している。A a 1 2 a はプラスチック構造体 A a 1 1 a の内部に屈折率変化部 A a 2 a が形成された状態のプラスチック構造体であり、図7におけるプラスチック構造体 A a 1 2 が1軸延伸されているものに相当している。また、MDは延伸方向、TDは直交方向である。すなわち、直交方向TDは、プラスチック構造体 A a 1 1 a における1軸延伸の延伸方向MDと直交している方向である。

【0113】図8に係るプラスチック透過型回折格子 A a 1 を作製する方法では、図8(a)で示されるような延伸されたプラスチック構造体 A a 1 1 a に対して、図7と同様の方法で、超短パルスレーザーを照射して、プ

10

20

30

40

50

ラスチック構造体A a 1 1 aの内部に互いに平行な屈折率変化部(A a 2 a 1, A a 2 a 2, ..., A a 2 a x)を複数形成して、図8(b)で示されるようなプラスチック構造体A a 1 2 aを作製し、さらに、該屈折率変化部A a 2 aを有するプラスチック構造体A a 1 2 aを熱により収縮させることにより、図8(c)で示されるようなプラスチック透過型回折格子A a 1を作製することができる。

【0114】図8(a)では、プラスチック透過型回折格子A a 1を作製するための材料としてのプラスチック構造体としては、1軸延伸されたプラスチック構造体A a 1 1 aが用いられているが、2軸延伸されたプラスチック構造体であってもよい。また、延伸倍率としては、特に制限されず、1軸延伸の場合、例えば、1.01~3倍(好ましくは1.2~2倍)程度の範囲から選択することができる。また、2軸延伸の場合、それぞれの方向(縦方向、横方向)の延伸倍率としては、前記1軸延伸の場合における延伸倍率と同様の範囲から選択することができる。

【0115】なお、プラスチック構造体の延伸に際しては、熱や圧力をかけることができる。プラスチック構造体の延伸方法としては、例えば、プラスチック構造体に熱をかけた後、一方向又は二方向に引っ張る延伸方法を採用することができる。

【0116】また、プラスチック構造体A a 1 2 aの収縮に際しては熱がかけられているが、プラスチック構造体A a 1 2 aを収縮させる際には熱及び/又は圧力をかけることができる。プラスチック構造体A a 1 2 aは予め延伸されているので、熱(必要に応じて熱及び圧力)をかけることによって、収縮させることができる。なお、プラスチック構造体A a 1 2 aが予め延伸されていない場合は、屈折率変化部A a 2 aを形成した後、例えば、熱とともに圧力をかけて強制的に収縮させることも可能である。

【0117】なお、図8(b)では、屈折率変化部A a 2 aが延伸方向MDに対して直交する直交方向TDに平行に並ぶような形態で形成されているが、延伸方向MDに平行に並ぶような形態で形成されていてもよい。すなわち、1軸延伸されたプラスチック構造体を用いる場合、レーザーA a 4の照射における焦点位置の移動方向は、直交方向TDに平行な方向であってもよく、延伸方向MDに平行な方向であってもよい。また、両方向(直交方向TD及び延伸方向MD)に平行な方向でなくてもよい。しかし、図8で示されるように、1軸延伸の場合は、直交方向TDに平行に並ぶような形態で屈折率変化部A a 2 aを形成すると、屈折率変化部A a 2 a間の平行間隔が延伸方向MDと平行な方向となるので、収縮により、屈折率変化部A a 2の平行間隔(ピッチ間隔)をより一層狭めることが可能となる。

【0118】このように、本発明では、超短パルスレー

ザーの照射後に、照射により形成された互いに平行な複数の屈折率変化部間の平行間隔が変化するように、プラスチック構造体を変形(例えば、延伸や収縮、特に収縮)させることにより、本発明のプラスチック透過型回折格子A aを作製することができる。

【0119】なお、レーザーA a 4の焦点の位置を、レーザーA a 4の照射方向A a 4 aに対して、平行な方向や垂直な方向や斜め方向等に移動させることができる。また、レーザーA a 4の焦点位置は、連続的又は間欠的に移動させることもできる。この様に、レーザーA a 4の焦点位置を移動させながら照射することにより、焦点位置の移動方向に連続的に形成された屈折率変化部を形成させることが出来、照射後にプラスチック構造体に変形を加えることにより、屈折率変化部間の間隔が調整されたプラスチック透過型回折格子A aを作製することができる。

【0120】(プラスチック透過型回折格子Bの作製方法)前記プラスチック透過型回折格子B 1としては、その作製方法は特に制限されず、例えば、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせて照射して複数の屈折率変化部を形成することにより作製することができ、この照射の際に、屈折率変化部間の間隔が一方向に変化するように照射するか、または、照射後に、屈折率変化部間の間隔が一方向に変化するようにプラスチック構造体を変形させること等により、作製することができる。すなわち、(B1)パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせるとともに、その焦点位置を、該焦点位置の移動により形成される屈折率変化部間の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化するように移動させて照射する方法、(B2)パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせて照射して複数の屈折率変化部を形成した後、該屈折率変化部間の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化するようにプラスチック構造体を変形させる方法などを用いることができる。

【0121】より具体的には、前記製造方法(B1)としては、例えば、図9で示されるように、屈折率(n)を有するプラスチック構造体B 1 1の内部における特定の部位に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーB 4の焦点を合わせてプラスチック構造体B 1 1の外部から照射して該焦点位置を移動させることにより屈折率が変化した屈折率変化部B 2を複数形成し、この際、その焦点位置を、隣接する屈折率変化部間の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化するように移動させる方法が挙げられる。

【0122】また、前記製造方法(B2)としては、例えば、図10で示されるように、屈折率(n)を有するプラスチック構造体B 8 1の内部における特定の部位に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーの

10

20

30

40

50



焦点を合わせてプラスチック構造体B 8 1の外部から照射して該焦点位置を移動させることにより屈折率が変化した屈折率変化部B 9 aを複数形成し、その後、屈折率変化部B 9 aを有するプラスチック構造体B 8 1を、隣接する屈折率変化部間の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化するように変形させる方法などが挙げられる。

【0123】図9は本発明のプラスチック透過型回折格子Bを作製する方法の一例を示す概略図である。図9において、B 1、B 1 a、(B 2 1、B 2 2、・・・、B 2 x)、B 2、B 3は、それぞれ、図2と同様である。11はプラスチック構造体、B 4はパルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザー（単に「レーザー」と称する場合がある）、B 4 aはレーザーB 4の照射方向であり、B 5はレンズである。プラスチック構造体B 11は、プラスチック透過型回折格子B 1を作製するための材料となるものであり、屈折率がnであるプラスチック材料から形成されている。そして、プラスチック構造体B 11の内部に屈折率変化部B 2が形成されたものが、プラスチック透過型回折格子B 1となる。屈折率変化部B 2は、レーザーB 4の照射による影響を受けて屈折率が変化した部位であり、隣接する同様の屈折率変化部B 2とその間隔が一方の側から他方の側にかけて変化している関係を有している。また、屈折率未変化部B 3は、レーザーB 4の照射による影響を受けておらず、屈折率が変化していない部位であり、元の屈折率（構造）を保持している。すなわち、屈折率未変化部B 3は、元の状態又は形態を保持している。従って、プラスチック透過型回折格子B 1は、屈折率未変化部B 3内に、一方向に変化しているピッチ間隔を隔てて屈折率変化部B 2が複数形成されている形態を有している。

【0124】レーザーB 4は、プラスチック構造体B 11に向けて、照射方向B 4 aの向きで（すなわち、Z軸と平行な方向で）照射している。なお、レーザーB 4はレンズB 5を用いることにより焦点を絞って合わせることができる。従って、レーザーB 4の焦点を絞って合わせる必要がない場合などでは、レンズB 5を用いる必要がない。

【0125】また、プラスチック構造体B 11は略直方体であり、その上面はX-Y平面と平行（またはZ軸と垂直）となっている。なお、プラスチック構造体B 11としては、直方体を用いているが、如何なる形状のものであってもよく、その大きさも特に制限されない。

【0126】また、図9において、B 6 1 a、B 6 2 a、・・・、B 6 x aはそれぞれレーザーB 4の照射を始めたときの焦点を合わせた最初の位置又はその中心位置（「照射開始位置」と称する場合がある）である。照射開始位置（B 6 1 a、B 6 2 a、・・・、B 6 x a）は、同一のX-Y面上にあり、特定の間隔があけられている。すなわち、照射開始位置（B 6 1 a、B 6 2 a、

・・・、B 6 x a）は、プラスチック構造体B 11の上面B 1 aから一定の深さに設定され、且つ等間隔の間隔で設けられている。なお、該照射開始位置（B 6 1 a、B 6 2 a、・・・、B 6 x a）間の間隔は、屈折率変化部（B 2 1、B 2 2、・・・、B 2 x）間の間隔の最小間隔となっている。

【0127】一方、B 6 1 b、B 6 2 b、・・・、B 6 x bはそれぞれレーザーB 4の照射を終えたときの焦点を合わせた最終の位置又はその中心位置（「照射終了位置」と称する場合がある）である。該照射終了位置（B 6 1 b、B 6 2 b、・・・、B 6 x b）も、前記照射開始位置（B 6 1 a、B 6 2 a、・・・、B 6 x a）と同様に、プラスチック構造体B 11の上面B 1 aから一定の深さに設定され、且つ等間隔の間隔で設けられている。なお、該照射終了位置（B 6 1 b、B 6 2 b、・・・、B 6 x b）間の間隔は、屈折率変化部（B 2 1、B 2 2、・・・、B 2 x）間の間隔の最大間隔となっている。

【0128】B 6 1 c、B 6 2 c、・・・、B 6 x cはそれぞれレーザーB 4の照射の焦点又はその中心位置（単に「焦点位置」と称する場合がある）が照射開始位置（B 6 1 a、B 6 2 a、・・・、B 6 x a）から照射終了位置（B 6 1 b、B 6 2 b、・・・、B 6 x b）に移動する移動方向である。B 6 1、B 6 2、・・・、B 6 xはそれぞれ照射開始位置（B 6 1 a、B 6 2 a、・・・、B 6 x a）のレーザーB 4の照射の焦点位置又は焦点の中心位置が移動した軌跡（「焦点位置軌跡」と称する場合がある）である。B 7 aは隣接した照射開始位置（B 6 1 a、B 6 2 a、・・・、B 6 x a）間の距離（最短距離）であり、B 7 bは隣接した照射終了位置（B 6 1 b、B 6 2 b、・・・、B 6 x b）間の距離である。

【0129】図9では、レーザーB 4の焦点位置を、それぞれ、照射開始位置（B 6 1 a、B 6 2 a、・・・、B 6 x a）から照射終了位置（B 6 1 b、B 6 2 b、・・・、B 6 x b）にかけて、焦点位置の移動方向（B 6 1 c、B 6 2 c、・・・、B 6 x c）の方向で、連続的に直線的に移動させており、該移動した焦点位置の軌跡が焦点位置軌跡（B 6 1、B 6 2、・・・、B 6 x）となっている。該焦点位置軌跡（B 6 1、B 6 2、・・・、B 6 x）において、焦点位置が移動した方向（B 6 1 c、B 6 2 c、・・・、B 6 x c）は、レーザーB 4の照射方向B 4 aと垂直な方向（図9では、X軸と平行な方向）である。従って、屈折率変化部B 2の長手方向は、移動方向（B 6 1 c、B 6 2 c、・・・、B 6 x c）の方向である。また、照射開始位置（B 6 1 a、B 6 2 a、・・・、B 6 x a）間の距離B 7 aよりも、照射終了位置（B 6 1 b、B 6 2 b、・・・、B 6 x b）間の距離B 7 bのほうが大きく、焦点位置軌跡（B 6 1、B 6 2、・・・、B 6 x）間の距離は照射開始位置（B 6 1 a、B 6 2 a、・・・、B 6 x a）から照射終了位置（B 6 1 b、B 6 2 b、・・・、B 6 x b）にかけて連続的に増加して変化し

ている。なお、隣接した照射開始位置（B 6 1 a, B 6 2 a, . . . , B 6 x a）間の距離 B 7 a は、格子のピッチ間隔  $\Lambda_1$  の最小間隔  $\Lambda_{1\min}$  と格子の厚み  $d_1$  とを足した距離（ $\Lambda_{1\min} + d_1$ ）に相当している。また、隣接した照射終了位置間の距離 B 7 b は、格子のピッチ間隔  $\Lambda_1$  の最大間隔  $\Lambda_{1\max}$  と格子の厚み  $d_1$  とを足した距離（ $\Lambda_{1\max} + d_1$ ）に相当している。

【0 1 3 0】より具体的には、まず、照射開始位置 B 6 1 a から照射終了位置 B 6 1 b にかけて焦点の移動方向 B 6 1 c の方向で、レーザー B 4 の焦点位置を連続的に直線的に移動させて、レーザーの照射を行う。その後、前記照射開始位置 B 6 1 a と同じ X-Y 面上にありかつ該照射開始位置 B 6 1 a から距離 B 7 a だけ移動した位置である焦点開始位置 B 6 2 a から、移動方向 B 6 2 c の方向で、照射終了位置 B 6 2 b まで、レーザー B 4 の焦点位置を連続的に直線的に移動させて、レーザーの照射を行う。以下、同様にして、順次、レーザーの照射を行うことにより、プラスチック構造体 B 1 1 の中に、一方の側から他方の側にかけて、ピッチ間隔  $\Lambda_1$ （ $\Lambda_{1\min} \sim \Lambda_{1\max}$ ）が変化している位置関係を有する複数の屈折率変化部（B 2 1, B 2 2, . . . , B 2 x）を形成して、回折格子として利用できるプラスチック透過型回折格子 B 1 を作製することができる。

【0 1 3 1】図 1 0 は本発明のプラスチック透過型回折格子 B を作製する方法の他の例を示す概略図である。図 1 0 において、（a）はプラスチック透過型回折格子 B 1 を作製するための材料となるプラスチック構造体を示しており、（b）は（a）に係るプラスチック構造体を延伸させた状態を示しており、（c）は（b）に係る延伸させたプラスチック構造体の内部に屈折率変化部を形成させた状態を示しており、（d）は（c）に係る屈折率変化部を有する延伸されたプラスチック構造体を収縮させて得られたプラスチック透過型回折格子を示している。

【0 1 3 2】図 1 0 において、B 8 はプラスチック構造体、B 8 a はプラスチック構造体 B 8 の一方の側（固定する側）の面、B 8 b はプラスチック構造体 B 8 の他方の側（延伸する側）の面、B 8 1 は延伸されたプラスチック構造体（「延伸プラスチック構造体」と称する場合がある）、B 8 c は延伸プラスチック構造体 B 8 1 の延伸した方の面、B 8 2 は収縮されたプラスチック構造体（「収縮プラスチック構造体」と称する場合がある）、B 8 d は収縮プラスチック構造体 B 8 2 の収縮した方の面である。また、（B 9 a 1, B 9 a 2, . . . , B 9 a x）は延伸プラスチック構造体 B 8 1 における屈折率変化部（「屈折率変化部 B 9 a」と総称する場合がある）であり、（B 9 b 1, B 9 b 2, . . . , B 9 b x）は収縮プラスチック構造体 B 8 2 における屈折率変化部（「屈折率変化部 B 9 b」と総称する場合がある）である。さらに、 $D_{B8}$  はプラスチック構造体 B 8 の幅、D

$D_{B1}$  は延伸プラスチック構造体 B 8 1 の延伸した方の面 B 8 c の幅、 $D_{B2}$  は収縮プラスチック構造体 B 8 2 の収縮した方の面 B 8 d の幅である。なお、プラスチック構造体 B 8 は、前記図 9 に係るプラスチック構造体 B 1 と同様のものである。

【0 1 3 3】図 1 0 に係るプラスチック透過型回折格子 B を作製する方法では、図 1 0（a）で示されるようなプラスチック構造体 B 8 の一方の側の面 B 8 a を固定して、他方の面 B 8 b を延伸させることにより、図 1 0（b）で示されるような延伸プラスチック構造体 B 8 1 を作製する。その後、図 9 と同様の方法で、超短パルスレーザーを照射して、延伸プラスチック構造体 B 8 1 の内部に屈折率変化部 B 9 a を複数作製する。なお、この際、屈折率変化部 B 9 a 間の間隔は、一方の側から他方の側にかけて変化していないことが好ましい。すなわち、屈折率変化部 B 9 a は互いに平行な関係を有していることが好ましい。そして、屈折率変化部 B 9 a を有する延伸プラスチック構造体 B 8 1 を収縮させて、収縮プラスチック構造体 B 8 2 を作製することにより、プラスチック構造体 B 8 2 の中に、一方の側から他方の側にかけて、ピッチ間隔  $\Lambda_1$ （ $\Lambda_{1\min} \sim \Lambda_{1\max}$ ）が変化している位置関係を有する複数の屈折率変化部（B 9 b 1, B 9 b 2, . . . , B 9 b x）が形成された、回折格子として利用できるプラスチック透過型回折格子 B 8 2 を作製することができる。

【0 1 3 4】なお、プラスチック構造体 B 8 の延伸に際しては、熱や圧力をかけることができる。プラスチック構造体 B 8 の延伸方法としては、例えば、プラスチック構造体 B 8 に熱をかけた後、一方の側の面 B 8 a を固定し、他方の側の面 B 8 b を引っ張ることにより、延伸を行うことができる。この延伸では、少なくともピッチ間隔の方向に延伸されていることが重要である。このように、ピッチ間隔の方向に延伸されていると、後の収縮で、ピッチ間隔が縮まり、ピッチ間隔を一方向に変化させることが可能となる。

【0 1 3 5】また、延伸プラスチック構造体 B 8 1 の収縮に際しても、熱や圧力をかけることができる。例えば、延伸プラスチック構造体 B 8 1 に熱をかけて、収縮をさせることにより、収縮を行うことができる。なお、本発明では、屈折率変化部を複数有するプラスチック構造体を収縮させて、一方の側から他方の側にかけて、ピッチ間隔  $\Lambda_1$ （ $\Lambda_{1\min} \sim \Lambda_{1\max}$ ）が変化している位置関係を有する複数の屈折率変化部を形成させる際には、図 1 0 で示されているように、屈折率変化部 B 9 a を複数有するプラスチック構造体 B 8 1 は、屈折率変化部 B 9 a を形成させる前に予めプラスチック構造体 B 8 1 の所定部位が延伸されていてもよく（例えば、延伸させる割合が部位により異なるようにして延伸されていてもよく）、すべての部位が延伸されていなくてもよい。延伸されている場合は、例えば、前述のように熱をかけるこ



とによる熱収縮を利用して、図10(d)で示されるような屈折率変化部間の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化しているプラスチック透過型回折格子を作製することができる。一方、延伸されていない場合は、屈折率変化部B9aを形成した後、例えば、熱及び/又は圧力をかけることにより、所定部位を収縮させて又は収縮させる割合を部位により変化するような形態で収縮させて、本発明のプラスチック透過型回折格子Bを作製することができる。しかし、図10(b)や(c)で示されているように、延伸されている(特に、不均一に延伸されている)ことが好ましい。その延伸の程度(延伸倍率)としては、特に制限されない。該延伸倍率としては、例えば、延伸後の辺の長さが延伸前の辺の長さに対して1.01~3倍(好ましくは1.2~2倍)程度であるような倍率であってもよい。

【0136】なお、本発明では、一方の側から他方の側にかけて、ピッチ間隔 $\Lambda_i$  ( $\Lambda_{min} \sim \Lambda_{max}$ )が変化している位置関係を有する複数の屈折率変化部を形成させる方法として、屈折率変化部を複数有するプラスチック構造体を延伸させる方法も用いることができる。

【0137】このように、本発明では、超短パルスレーザーの照射後に、照射により形成された複数の屈折率変化部間の間隔が一方向に変化するように、プラスチック構造体を変形(例えば、延伸や収縮など)させることによっても、本発明のプラスチック透過型回折格子Bを作製することができる。

【0138】本発明では、屈折率変化部(例えば、図9ではB21, B22, ..., B2xで示されている)は、最終的にその間隔が一方の側から他方の側にかけて変化して形成されればよく、レーザーB4の焦点の位置を、レーザーB4の照射方向B4aに対して、平行な方向や垂直な方向や斜め方向等に移動させることが出来る。また、本発明では、レーザーB4の焦点位置は、連続的又は間欠的に移動させることもできる。この様に、レーザーB4の焦点位置を移動させながら照射することにより、焦点位置の移動方向に連続的に形成された屈折率変化部を形成させることが出来、必要に応じて照射後にプラスチック構造体に変形を加えることにより、一方向に屈折率変化部間の間隔が変化しているプラスチック透過型回折格子Bを作製することができる。

【0139】(プラスチック透過型回折格子Cの作製方法)前記プラスチック透過型回折格子C1は、前記プラスチック透過型回折格子A1の作製方法と同様の方法にして、例えば、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせて照射して複数の屈折率変化部を形成することにより作製することができる。具体的には、前記プラスチック透過型回折格子C1は、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせるとともに、その焦点位置を、該焦点位置の移動により形成される屈折率変

化部が互いに平行な複数のものと、前記屈折率変化部に対して交差し且つ互い平行な複数のものとができるように移動させて照射することにより、製造することができる。より具体的には、例えば、図11で示されるように、プラスチック透過型回折格子C1は、屈折率(n)を有するプラスチック構造体C11の内部における特定の部位に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーC4の焦点を合わせてプラスチック構造体C11の外部から照射して該焦点位置を移動させることにより、屈折率が変化した屈折率変化部C2aを互いに平行に複数形成させた後、さらに、屈折率変化部C2bを、前記屈折率変化部C2aに対して互いに交差し、且つ該屈折率変化部C2b内では互いに平行になるように複数形成させて、作製することができる。

【0140】図11は本発明のプラスチック透過型回折格子Cを作製する方法の一例を示す概略図である。図11において、C1a、(C2a1, C2a2, ..., C2ax)、C2a、C3は、それぞれ、図3と同様である。C11はプラスチック構造体、C12はプラスチック構造体C11に屈折率変化部C2aのみが形成された状態のプラスチック構造体、C4はパルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザー(単に「レーザー」と称する場合がある)、C4aはレーザーC4の照射方向であり、C5はレンズである。プラスチック構造体C11は、プラスチック透過型回折格子C1を作製するための材料となるものであり、屈折率がnであるプラスチック材料から形成されている。そして、プラスチック構造体C11の内部に屈折率変化部C2aが形成されてプラスチック構造体C12となり、さらに該プラスチック構造体C12に屈折率変化部C2bが形成されたものが、プラスチック透過型回折格子C1となる。屈折率変化部C2(C2a, C2b)は、レーザーC4の照射による影響を受けて屈折率が変化した部位であり、屈折率変化部C2a内では、隣接する同様の屈折率変化部(C2a1, C2a2, ..., C2ax)は互いに平行な位置関係を有しているとともに、屈折率変化部C2b内では、隣接する同様の屈折率変化部(C2b1, C2b2, ..., C2bx)は互いに平行な位置関係を有し、且つ屈折率変化部C2aと屈折率変化部C2bとは交差している(図3では直交している)位置関係を有している。また、屈折率未変化部C3は、レーザーC4の照射による影響を受けておらず、屈折率が変化していない部位であり、元の屈折率(構造)を保持している。すなわち、屈折率未変化部C3は、元の状態又は形態を保持している。従って、プラスチック透過型回折格子C1は、屈折率未変化部C3内に、特定のピッチ間隔を隔てて互いに平行な屈折率変化部C2aと、特定のピッチ間隔を隔てて互いに平行な屈折率変化部C2bとが複数形成されているとともに、屈折率変化部C2aと屈折率変化部C2bとが交差(特に直交)している形態を有している。

【0141】レーザーC4は、プラスチック構造体C11に向けて、照射方向C4aの向きで（すなわち、Z軸と平行な方向で）照射している。なお、レーザーC4はレンズC5を用いることにより焦点を絞って合わせることができる。従って、レーザーC4の焦点を絞って合わせる必要がない場合などでは、レンズC5を用いる必要がない。

【0142】また、プラスチック構造体C11は略直方体であり、その上面はX-Y平面と平行（またはZ軸と垂直）となっている。なお、プラスチック構造体C11

としては、直方体を用いているが、如何なる形状のものであってもよく、その大きさも特に制限されない。

【0143】また、図11において、C61a, C62a, ..., C6xaはそれぞれレーザーC4の照射を始めたときの焦点を合わせた最初の位置又はその中心位置（「照射開始位置」と称する場合がある）である。照射開始位置（C61a, C62a, ..., C6xa）は、同一のX-Y面上でかつX軸上の位置が同じであるとともに、Y軸上の位置が異なり、特定の間隔があげられている。すなわち、照射開始位置（C61a, C62a, ..., C6xa）は、プラスチック構造体C11の上面C1aから一定の深さに設定され、且つ同一のY軸方向に等間隔の間隔で設けられている。

【0144】一方、C61b, C62b, ..., C6xbはそれぞれレーザーC4の照射を終えたときの焦点を合わせた最終の位置又はその中心位置（「照射終了位置」と称する場合がある）である。該照射終了位置（C61b, C62b, ..., C6xb）も、前記照射開始位置（C61a, C62a, ..., C6xa）と同様に、プラスチック構造体C11の上面C1aから一定の深さに設定され、且つ同一のY軸方向に等間隔の間隔で設けられている。

【0145】C61c, C62c, ..., C6xcはそれぞれレーザーC4の照射の焦点又はその中心位置（単に「焦点位置」と称する場合がある）が照射開始位置（C61a, C62a, ..., C6xa）から照射終了位置（C61b, C62b, ..., C6xb）に移動する移動方向であり、X軸と平行な方向である。C61, C62, ..., C6xはそれぞれ照射開始位置（C61a, C62a, ..., C6xa）のレーザーC4の照射の焦点位置又は焦点の中心位置が移動した軌跡（「焦点位置軌跡」と称する場合がある）である。C7は隣接した照射開始位置（C61a, C62a, ..., C6xa）間の距離（最短距離）である。

【0146】図11では、レーザーC4の焦点位置を、それぞれ、照射開始位置（C61a, C62a, ..., C6xa）から照射終了位置（C61b, C62b, ..., C6xb）にかけて、焦点位置の移動方向（C61c, C62c, ..., C6xc）の方向で、連続的に直線的に移動させており、該移動した焦点位置の軌跡が焦

点位置軌跡（C61, C62, ..., C6x）となっている。該焦点位置軌跡（C61, C62, ..., C6x）において、焦点位置が移動した方向（C61c, C62c, ..., C6xc）は、レーザーC4の照射方向C4aと垂直な方向（図11では、X軸と平行な方向）である。従って、屈折率変化部C2aの長手方向は、移動方向（C61c, C62c, ..., C6xc）の方向である。また、照射開始位置（C61a, C62a, ..., C6xa）間の距離C7は、照射終了位置（C61b, C62b, ..., C6xb）間の距離や、焦点位置軌跡（C61, C62, ..., C6x）間の距離（最短距離）に相当している。従って、隣接した照射開始位置（C61a, C62a, ..., C6xa）間の距離C7は、格子のピッチ間隔 $\Lambda_c$ と格子の厚み $d_c$ とを足した距離（ $\Lambda_c + d_c$ ）に相当している。

【0147】より具体的には、まず、照射開始位置C61aから照射終了位置C61bにかけて焦点の移動方向C61cの方向で、レーザーC4の焦点位置を連続的に直線的に移動させて、レーザーの照射を行う。その後、前記照射開始位置C61aと同じX-Y面上にありかつX軸上の位置が同じでY軸上の位置が距離C7だけ移動した位置である焦点開始位置C62aから、前記移動方向C61cと平行な方向である移動方向C62cの方向で、前記照射終了位置C61bと同一のX軸の位置となる照射終了位置C62bまで、レーザーC4の焦点位置を連続的に直線的に移動させて、レーザーの照射を行う。以下、同様にして、順次、レーザーの照射を行うことにより、プラスチック構造体C11の中にピッチ間隔 $\Lambda_c$ の距離を保って、互いに平行な位置関係を有する複数の屈折率変化部（C2a1, C2a2, ..., C2ax）を形成する。そして、前記屈折率変化部（C2a1, C2a2, ..., C2ax）のレーザーの照射による作製方法と同様にして、該屈折率変化部（C2a1, C2a2, ..., C2ax）と交差するとともに、互いに平行な位置関係を有している複数の屈折率変化部（C2b1, C2b2, ..., C2bx）を形成させることにより、回折格子として利用できるプラスチック透過型回折格子C1を作製することができる。

【0148】本発明では、屈折率変化部（C2a1, C2a2, ..., C2ax）や屈折率変化部（C2b1, C2b2, ..., C2bx）は、屈折率変化部C2a又は屈折率変化部C2b内で、それぞれお互いに平行な位置関係を保つように形成され、且つ屈折率変化部C2aと屈折率変化部C2bとが交差するように形成されていればよく、レーザーC4の焦点の位置を、レーザーC4の照射方向C4aに対して、平行な方向や垂直な方向や斜め方向等に移動させることができる。また、本発明では、レーザーC4の焦点位置は、連続的又は間欠的に移動させることもできる。この様に、レーザーC4の焦点位置を移動させながら照射することにより、焦点位置の

移動方向に連続的に形成された屈折率変化部C 2 aや屈折率変化部C 2 bを形成させることができる。

【0149】（プラスチック透過型回折格子Dの作製方法）前記プラスチック透過型回折格子D 1は、前記プラスチック透過型回折格子A 1の作製方法と同様の方法にして、例えば、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせて、その焦点位置を移動させて照射することにより屈折率変化部を形成し、さらに、屈折率変化部が特定の位置関係を有するように屈折率変化部を複数形成することにより、作製することができる。

【0150】この際、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーは、単数で用いても、複数で用いてもよい。しかし、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーを照射する際には、1光束で照射すること（すなわち、複数のレーザーを多方向から照射して、その交点又はその近傍に屈折率変化部を形成するような光の干渉を利用せずに照射すること）が好ましい。このように、レーザーを1光束で（又は単一で）照射することにより、屈折率変化部の奥行き長さLを長くすることができ、より大きな屈折率変化部を形成することができる。また、略直方体の屈折率変化部を形成することも可能となる。

【0151】具体的には、前記プラスチック透過型回折格子D 1は、例えば、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせるとともに、その焦点位置を、該焦点位置の移動により形成される屈折率変化部を互いに平行に複数有している格子群がそれぞれ層状となるように、且つ各格子群中の互いに平行な複数の屈折率変化部における互いに対向している面の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となるように、移動させて照射する（特に、1光束照射で照射する）ことにより、製造することができる。

【0152】さらに具体的には、例えば、図12で示されるように、プラスチック透過型回折格子D 1は、屈折率(n)を有するプラスチック構造体D 12の内部における特定の部位に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーD 5の焦点を合わせてプラスチック構造体D 12の外部から1光束で照射して該焦点位置を移動させることにより、屈折率が変化した屈折率変化部D 2 bを互いに平行に複数形成させた後、さらに、前記屈折率変化部D 2 bより上方又は表面側に、屈折率変化部D 2 aを互いに平行に複数形成するとともに、該互いに平行な複数の屈折率変化部D 2 aにおける互いに対向している面F<sub>2a</sub>の面方向が、前記互いに平行な複数の屈折率変化部D 2 bにおける互いに対向している面F<sub>2b</sub>の面方向と異なっているように形成させて、作製することができる。

【0153】図12は図4に係るプラスチック透過型回折格子D 1を作製する方法の一例を示す概略図である。図12において、D 1、D 1 a、(D 2 a 1、D 2 a

2、・・・、D 2 a x)、D 2 a、D 3 a、(D 2 b 1、D 2 b 2、・・・、D 2 b x)、D 2 b、D 3 b、F<sub>2a</sub>、F<sub>2b</sub>は、それぞれ、図4と同様である。D 12はプラスチック構造体、D 5はパルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザー（単に「レーザー」と称する場合がある）、D 5 aはレーザーD 5の照射方向であり、D 6はレンズである。プラスチック構造体D 12は、プラスチック透過型回折格子D 1を作製するための材料となるものであり、屈折率がnであるプラスチック材料から形成されている。そして、プラスチック構造体D 12の内部に格子群D 3 aと、格子群D 3 bとが形成されたものが、プラスチック透過型回折格子D 1となる。屈折率変化部D 2 (D 2 a、D 2 b)は、レーザーD 5の照射による影響を受けて屈折率が変化した部位であり、格子群D 3 a内では、隣接する屈折率変化部(D 2 a 1、D 2 a 2、・・・、D 2 a x)は互いに平行な位置関係を有しているとともに、格子群D 3 b内では、隣接する屈折率変化部(D 2 b 1、D 2 b 2、・・・、D 2 b x)は互いに平行な位置関係を有し、且つ格子群D 3 a中の屈折率変化部(D 2 a 1、D 2 a 2、・・・、D 2 a x)における互いに対向している面F<sub>2a</sub>の面方向と、格子群D 3 b中の屈折率変化部(D 2 b 1、D 2 b 2、・・・、D 2 b x)における互いに対向している面F<sub>2b</sub>の面方向とは非平行な〔図4ではこれら2つの面方向間の面角は90°となっている〕位置関係を有している。また、屈折率未変化部D 4は、レーザーD 5の照射による影響を受けておらず、屈折率が変化していない部位であり、元の屈折率(構造)を保持している。すなわち、屈折率未変化部D 4は、元の状態又は形態を保持している。従って、プラスチック透過型回折格子D 1は、屈折率未変化部D 4内に、特定のピッチ間隔を隔てて互いに平行な屈折率変化部(D 2 a 1、D 2 a 2、・・・、D 2 a x)からなる格子群D 3 aと、特定のピッチ間隔を隔てて互いに平行な屈折率変化部(D 2 b 1、D 2 b 2、・・・、D 2 b x)からなる格子群D 3 bとが、格子群D 3 a中の屈折率変化部(D 2 a 1、D 2 a 2、・・・、D 2 a x)における互いに対向している面F<sub>2a</sub>の面方向と、格子群D 3 b中の屈折率変化部(D 2 b 1、D 2 b 2、・・・、D 2 b x)における互いに対向している面F<sub>2b</sub>の面方向とが非平行な位置関係で、形成されている（積層されている）。

【0154】レーザーD 5は1光束でプラスチック構造体D 12に向けて、照射方向D 5 aの向きで（すなわち、Z軸と平行な方向で）照射している。なお、レーザーD 5はレンズD 6を用いることにより焦点を絞って合わせることができる。従って、レーザーD 5の焦点を絞って合わせる必要がない場合などでは、レンズD 6を用いる必要がない。

【0155】また、プラスチック構造体D 12は略直方体であり、その上面はX-Y平面と平行（またはZ軸と

10

20

30

40

50

垂直)となっている。なお、プラスチック構造体D12としては、直方体を用いているが、如何なる形状のものであってもよく、その大きさも特に制限されない。

【0156】また、図12において、D71a、D72a、 $\dots$ 、D7xaは、格子群D3bを形成するために、それぞれレーザーD5の照射をし始めたときの焦点を合わせた最初の位置又はその中心位置(「照射開始位置」と称する場合がある)である。照射開始位置(D71a、D72a、 $\dots$ 、D7xa)は、同一のX-Y面上でかつX軸上の位置が同じであるとともに、Y軸上の位置が異なり、特定の間隔があげられている。すなわち、照射開始位置(D71a、D72a、 $\dots$ 、D7xa)は、プラスチック構造体D12の上面D1aから一定の深さに設定され、且つ同一のY軸方向に等間隔の間隔で設けられている。

【0157】一方、D71b、D72b、 $\dots$ 、D7xbはそれぞれレーザーD5の照射を終えたときの焦点を合わせた最終の位置又はその中心位置(「照射終了位置」と称する場合がある)である。該照射終了位置(D71b、D72b、 $\dots$ 、D7xb)も、前記照射開始位置(D71a、D72a、 $\dots$ 、D7xa)と同様に、プラスチック構造体D12の上面D1aから一定の深さに設定され、且つ同一のY軸方向に等間隔の間隔で設けられている。

【0158】D71c、D72c、 $\dots$ 、D7xcはそれぞれレーザーD5の照射の焦点又はその中心位置(単に「焦点位置」と称する場合がある)が照射開始位置(D71a、D72a、 $\dots$ 、D7xa)から照射終了位置(D71b、D72b、 $\dots$ 、D7xb)に移動する移動方向であり、X軸と平行な方向である。D71、D72、 $\dots$ 、D7xはそれぞれ照射開始位置(D71a、D72a、 $\dots$ 、D7xa)のレーザーD5の照射の焦点位置又は焦点の中心位置が移動した軌跡(「焦点位置軌跡」と称する場合がある)である。D8は隣接した照射開始位置(D71a、D72a、 $\dots$ 、D7xa)間の距離(最短距離)である。

【0159】図12では、レーザーD5の焦点位置を、それぞれ、照射開始位置(D71a、D72a、 $\dots$ 、D7xa)から照射終了位置(D71b、D72b、 $\dots$ 、D7xb)にかけて、焦点位置の移動方向(D71c、D72c、 $\dots$ 、D7xc)の方向で、連続的に直線的に移動させており、該移動した焦点位置の軌跡が焦点位置軌跡(D71、D72、 $\dots$ 、D7x)となっている。該焦点位置軌跡(D71、D72、 $\dots$ 、D7x)において、焦点位置が移動した方向(D71c、D72c、 $\dots$ 、D7xc)は、レーザーD5の照射方向D5aと垂直な方向(図12では、X軸と平行な方向)である。従って、屈折率変化部D2bの長手方向は、移動方向(D71c、D72c、 $\dots$ 、D7xc)の方向(X軸と平行な方向)であり、一方、屈折率変化部D2

bにおける互いに対向している面の面方向は、X-Z平面と平行な方向である。

【0160】また、照射開始位置(D71a、D72a、 $\dots$ 、D7xa)間の距離D8は、照射終了位置(D71b、D72b、 $\dots$ 、D7xb)間の距離や、焦点位置軌跡(D71、D72、 $\dots$ 、D7x)間の距離(最短距離)に相当している。従って、隣接した照射開始位置(D71a、D72a、 $\dots$ 、D7xa)間の距離D8は、格子のピッチ間隔 $\Lambda_0$ と格子の厚み $d_0$ とを足した距離( $\Lambda_0 + d_0$ )に相当している。

【0161】より具体的には、まず、照射開始位置D71aから照射終了位置D71bにかけて焦点の移動方向D71cの方向で、レーザーD5の焦点位置を連続的に直線的に移動させて、レーザーの照射を行う。その後、前記照射開始位置D71aと同じX-Y面上にありかつX軸上の位置が同じでY軸上の位置が距離D8だけ移動した位置である焦点開始位置D72aから、前記移動方向D71cと平行な方向である移動方向D72cの方向で、前記照射終了位置D71bと同一のX軸の位置となる照射終了位置D72bまで、レーザーD5の焦点位置を連続的に直線的に移動させて、レーザーの照射を行う。以下、同様に、順次、レーザーの照射を行うことにより、プラスチック構造体D12の中にピッチ間隔 $\Lambda_0$ の距離を保って、互いに平行な位置関係を有する複数の屈折率変化部(D2b1、D2b2、 $\dots$ 、D2bx)を形成して、格子群D3bを形成する。そして、前記格子群D3bの屈折率変化部(D2b1、D2b2、 $\dots$ 、D2bx)のレーザーの照射による作製方法と同様に、照射開始位置のプラスチック構造体D12の上面からの深さや、焦点位置が移動する方向などを適宜調整してレーザーを照射して、互いに平行な位置関係を有する複数の屈折率変化部(D2a1、D2a2、 $\dots$ 、D2ax)からなる格子群D3aを、該格子群D3aの屈折率変化部(D2a1、D2a2、 $\dots$ 、D2ax)における互いに対向している面の面方向が、前記格子群D3bの屈折率変化部(D2b1、D2b2、 $\dots$ 、D2bx)における互いに対向している面の面方向と非平行な方向[図4ではこれら2つの面方向間の面角は90°となっている]となるように形成させることにより、回折格子として利用できるプラスチック透過型回折格子D1を作製することができる。

【0162】図12では、格子群(D3a、D3b)のうち、レーザーD5を照射している側の面D1aから見て下層側(遠方側)である格子群D3bを、上層側(近方側)である格子群D3aより先に形成している。これは、上層側の格子群D3aを先に形成すると、後で下層側の格子群D3bを形成する際のレーザーD5の照射による影響を、先に形成されている格子群D3aが受ける可能性があるためである。従って、本発明では、レーザーの照射する側の面から最も遠い側(最下層側)の格子

群から順に、格子群をそれぞれ層状に複数形成することが好ましい。

【0163】なお、図5で示されるプラスチック透過型回折格子D11は、前記プラスチック透過型回折格子D1の作製方法と同様に、例えば、屈折率(n)を有するプラスチック構造体の内部における特定の部位に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーの焦点を合わせてプラスチック構造体の外部から1光束で照射して該焦点位置を移動させることにより、屈折率が変化した屈折率変化部D2cを互いに平行に複数形成させた後、さらに、前記屈折率変化部D2cより上方又は表面側に、屈折率変化部D2bを互いに平行に複数形成するとともに、該互いに平行な複数の屈折率変化部D2bにおける互いに対向している面F<sub>2b</sub>の面方向が、前記互いに平行な複数の屈折率変化部D2cにおける互いに対向している面F<sub>2c</sub>の面方向と異なっているように形成させ、さらにまた、前記屈折率変化部D2bより上方又は表面側に、屈折率変化部D2aを互いに平行に複数形成するとともに、該互いに平行な複数の屈折率変化部D2aにおける互いに対向している面F<sub>2a</sub>の面方向が、前記互いに平行な複数の屈折率変化部D2bにおける互いに対向している面F<sub>2b</sub>の面方向と異なっているように形成させて、作製することができる。

【0164】本発明のプラスチック透過型回折格子Dでは、各格子群において、屈折率変化部が互いに平行な位置関係を保つように形成されていればよく、レーザーD5の焦点の位置を、レーザーD5の照射方向D5aに対して、平行な方向や垂直な方向や斜め方向等に移動させることができる。また、本発明では、レーザーD5の焦点位置は、連続的又は間欠的に移動させることもできる。この様に、レーザーD5の焦点位置を移動させながら照射することにより、焦点位置の移動方向に連続的に形成された屈折率変化部D2を形成させることができる。

【0165】(2光束干渉による作製方法)本発明では、超短パルスレーザーは、単数で用いてもよく、複数で用いてもよい。すなわち、超短パルスレーザーを照射する際には、1光束で照射する方法や、多光束干渉で照射する方法を採用することができる。ここで、多光束干渉で照射する方法とは、複数のレーザーを多方向から照射して、その交点又はその近傍に誘起構造部を形成するような光の干渉を利用して照射する方法を意味しており、一光束で照射する方法とは、前記のような光の干渉を利用せずに、単一のレーザー(単光源)で照射する方法を意味している。例えば、2光束干渉でレーザーを照射する方法としては、2台のレーザーを用いて照射する方法や、ビームスプリッター(例えば、ハーフミラー、プリズム、グレーティングなど)を用いて1台のレーザーによる光を分光して照射する方法などを採用することができる。

【0166】本発明では、特に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーを1光束で照射することにより、屈折率変化部の奥行き長さ(例えば、図4で示されるように互いに平行な複数の屈折率変化部を有する格子群が形成されている場合、各格子群中の各屈折率変化部の奥行き長さ $l_0$ )を長くすることができる。一方、2光束干渉などの多光束干渉で照射することにより、屈折率変化部の奥行き長さ(例えば、図4で示されるように互いに平行な複数の屈折率変化部を有する格子群が形成されている場合、各格子群中の各屈折率変化部の奥行き長さ $l_0$ )を短くすることができる。

【0167】従って、プラスチック透過型回折格子が、屈折率が変化した互いに平行な複数の屈折率変化部を有するとともに、該互いに平行な複数の屈折率変化部を有する格子群を複数有し、且つ前記複数の格子群がそれぞれ層状に形成されているとともに、各格子群中の互いに平行な複数の屈折率変化部における互いに対向している面の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となっているプラスチック透過型回折格子の場合(具体的には、前記プラスチック透過型回折格子D1などのような場合)、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせて、その焦点位置を移動させて照射することにより屈折率変化部を形成し、さらに、屈折率変化部が特定の位置関係を有するように屈折率変化部を複数形成する際に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーを複数用いて、多方向から光を照射し、その交点又はその近傍に屈折率変化部を形成する多光束干渉(特に、2方向から光を照射して行う2光束干渉)を利用して照射することが好ましい。

【0168】このように、レーザーを多光束干渉で(例えば、2光束干渉で)照射することにより、屈折率変化部の奥行き長さ( $L_A$ 、 $L_B$ 、 $L_C$ 、 $L_D$ など)を短くすることができ、より小さな屈折率変化部を形成することができる。さらにまた、2光束干渉等の多光束干渉を利用することにより、1光束の場合に比べ、屈折率変化部を形成する位置の位置決めや、屈折率変化部の大きさのコントロールが行いやすくなる。

【0169】(プラスチック透過型回折格子Da及びその作製方法)例えば、プラスチック透過型回折格子が、屈折率が変化した互いに平行な複数の屈折率変化部を有するとともに、該互いに平行な複数の屈折率変化部を有する格子群を複数有し、且つ前記複数の格子群がそれぞれ層状に形成されているとともに、各格子群中の互いに平行な複数の屈折率変化部における互いに対向している面の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となっているプラスチック透過型回折格子の場合、例えば、図13や図14で示されるような、各格子群中の各屈折率変化部の奥行き長さが短くなっているプラスチック透過型回折格子(「プラスチック透過型回折格子Da」と称する場合がある)は、図15で示されるように、パル

ス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーを2光束干渉でプラスチック構造体に照射して屈折率変化部を形成することにより、作製することができる。

【0170】図13は本発明のプラスチック透過型回折格子Dの他の例を示す概略鳥瞰図である。図13は、プラスチック透過型回折格子Daの一例を示している。図13において、Da1はプラスチック透過型回折格子、Da1aは光が入射する入射面（上面）、Da1bは下面である。Da2a1, Da2a2, ..., Da2axはそれぞれ屈折率変化部（回折格子）であり、これらの屈折率変化部（Da2a1, Da2a2, ..., Da2ax）は、Y軸方向と平行な方向で、互いに平行な位置関係で形成されている。F<sub>Da2a</sub>は、屈折率変化部（Da2a1, Da2a2, ..., Da2ax）における互いに対向している面であり、該面F<sub>Da2a</sub>の面方向はY-Z平面と平行な方向となっている。Da3aは格子群であり、屈折率変化部（Da2a1, Da2a2, ..., Da2ax）を有している。また、Da2b1, Da2b2, ..., Da2bxはそれぞれ屈折率変化部（回折格子）であり、これらの屈折率変化部（Da2b1, Da2b2, ..., Da2bx）は、X軸と平行な方向で、互いに平行な位置関係で形成されている。F<sub>Da2b</sub>は、屈折率変化部（Da2b1, Da2b2, ..., Da2bx）における互いに対向している面であり、該面F<sub>Da2b</sub>の面方向はX-Z平面と平行な方向となっている。Da3bは格子群であり、屈折率変化部（Da2b1, Da2b2, ..., Da2bx）を有している。

【0171】さらにまた、Da4は屈折率未変化部である。また、Λ<sub>Da</sub>は各格子群中の平行に隣接した屈折率変化部Da2間の平行間隔（ピッチ間隔）、L<sub>Da</sub>は屈折率変化部Da2の奥行き長さ、d<sub>Da</sub>は屈折率変化部Da2の厚み、W<sub>Da</sub>は屈折率変化部Da2の幅を示す。

【0172】また、図14は本発明のプラスチック透過型回折格子Dの他の例を示す概略鳥瞰図である。具体的には、図14は、プラスチック透過型回折格子Daの他の例を示している。図14において、Da11はプラスチック透過型回折格子、Da11aは光が入射する入射面（上面）、Da11bは下面である。Da2c1, Da2c2, ..., Da2cxはそれぞれ屈折率変化部（回折格子）であり、これらの屈折率変化部（Da2c1, Da2c2, ..., Da2cx）は、X-Y平面上においてX軸と55°をなす角度の方向で、互いに平行な位置関係で形成されている。F<sub>Da2c</sub>は、屈折率変化部（Da2c1, Da2c2, ..., Da2cx）における互いに対向している面であり、該面F<sub>Da2c</sub>の面方向はX-Z平面と55°の面角をなす方向となっている。Da3cは格子群であり、屈折率変化部（Da2c1, Da2c2, ..., Da2cx）を有している。なお、（Da2a1, Da2a2, ..., Da2ax）、（D

a2b1, Da2b2, ..., Da2bx）、F<sub>Da2a</sub>、F<sub>Da2b</sub>、Da4、Λ<sub>Da</sub>、L<sub>Da</sub>、d<sub>Da</sub>、W<sub>Da</sub>などは、図13と同様である。

【0173】図13及び14において、屈折率変化部（Da2a1, Da2a2, ..., Da2ax）を屈折率変化部Da2aと総称する場合がある。屈折率変化部（Da2b1, Da2b2, ..., Da2bx）を屈折率変化部Da2bと総称する場合がある。屈折率変化部（Da2c1, Da2c2, ..., Da2cx）を屈折率変化部Da2cと総称する場合がある。また、屈折率変化部（Da2a, Da2b, Da2c, ...）を屈折率変化部Da2と総称する場合がある。さらにまた、格子群（Da3a, Da3b, Da3c, ...）を格子群Da3と総称する場合がある。各格子群中の屈折率変化部における互いに対向している面（F<sub>Da2a</sub>, F<sub>Da2b</sub>, F<sub>Da2c</sub>, ...）を、面F<sub>Da2</sub>と総称する場合がある。

【0174】図13又は14に係るプラスチック透過型回折格子（Da1, Da11）は、略直方体であり、その上面は、X-Y平面に対して平行（またはZ軸に対して垂直）となっている。このプラスチック透過型回折格子（Da1, Da11）は、層状に形成された（積層された）複数の格子群Da3を有しており、例えば、プラスチック透過型回折格子Da1では、格子群Da3a及び格子群Da3bがそれぞれ層状に形成されており、また、プラスチック透過型回折格子Da11では、格子群Da3a、格子群Da3b及び格子群Da3cがこの順でそれぞれ層状に形成されている。

【0175】該複数の格子群Da3における各格子群（Da3a, Da3b, Da3c）は、それぞれ、互いに平行な複数の屈折率変化部（Da2a, Da2b, Da2c）を有しているとともに、各格子群（Da3a, Da3b, Da3c）中の屈折率変化部（Da2a, Da2b, Da2c）における互いに対向している面（F<sub>Da2a</sub>, F<sub>Da2b</sub>, F<sub>Da2c</sub>）の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となっている。具体的には、面F<sub>Da2a</sub>の面方向と、面F<sub>Da2b</sub>の面方向とは、異なる方向〔これらの面方向間の面角（鋭角）は90°となっている〕であり、面F<sub>Da2b</sub>の面方向と、面F<sub>Da2c</sub>の面方向とは、異なる方向〔これらの面方向間の面角（鋭角）は55°となっている〕である。隣接する格子群の間において、面（F<sub>Da2a</sub>, F<sub>Da2b</sub>, F<sub>Da2c</sub>, ...）の面方向の面角（鋭角）としては、0°でなければ目的とする回折格子にに応じて適宜選択することができ、0°より大きく90°以下（例えば、1~90°）の範囲から選択することができる。なお、面角とは、それぞれの面の法線間の角度を意味している。

【0176】また、屈折率変化部Da2は、断面が略楕円形の略円柱状の形態を有している。該屈折率変化部Da2は、屈折率（n）を有するプラスチック構造体の内部における特定の部位に形成された屈折率が変化した部



位である。このような屈折率変化部Da2は、例えば、プラスチック構造体の内部に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーの焦点を合わせて、以下に示す特定の方法により照射することにより形成することができる。図13に係る屈折率変化部Da2は、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーを用いて形成されている。すなわち、屈折率変化部Da2は、超短パルスレーザーが照射された（レーザーの焦点が合わせられた）レーザー照射部であり、超短パルスレーザー照射前のプラスチック構造体の屈折率（ $n$ ）と異なる屈折率（ $n'$ ）を有している。一方、屈折率未変化部Da4は、超短パルスレーザーが照射されていない（レーザーの焦点が合わせられていない）レーザー未照射部であり、超短パルスレーザー照射前のプラスチック構造体の屈折率（ $n$ ）と同じ屈折率（ $n$ ）を有している。

【0177】前記屈折率変化部Da2において、各格子群中の各屈折率変化部Da2の奥行き長さ $L_m$ としては、 $3\mu\text{m}$ 以上とすることができる。好ましい奥行き長さ $L_m$ は $3\mu\text{m}$ 以上 $20\mu\text{m}$ 未満である。パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーを2光束干渉で照射することにより、各格子群中の各屈折率変化部の奥行き長さ $L$ を短くすることができる。なお、このように、多光束干渉（2光束干渉など）による照射を行わずに、1光束で照射する場合は、屈折率変化部の奥行き長さは $5\mu\text{m}$ 以上（好ましくは $20\mu\text{m}$ 以上）であることが好ましい。

【0178】また、各格子群中の隣接した屈折率変化部Da2のピッチ間隔 $\Lambda_m$ としては、例えば、 $50\mu\text{m}$ 以下（好ましくは $30\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは $15\mu\text{m}$ 以下）程度であることが望ましい。

【0179】また、各格子群中の各屈折率変化部Da2の厚み（格子の厚み） $d_m$ としては、格子のピッチ間隔の $1/3$ 以上（好ましくは $1/2$ 以上）であることが望ましい。

【0180】なお、各格子群中の各屈折率変化部（Da2a1, Da2a2, ..., Da2ax, Da2b1, Da2b2, ..., Da2bx, ...）の幅 $W_m$ は、入射光の特性等に応じて適宜選択することができる。

【0181】なお、本発明では、各格子群中の屈折率変化部のピッチ間隔 $\Lambda_m$ は、すべての格子群間で同一であってもよく、各格子群間で異なってもよく、あるいは、一部の格子群間で同一であってもよい。また、同様に、厚み $d_m$ 、奥行き長さ $L_m$ 、幅 $W_m$ 等についても、すべての格子群間で同一であってもよく、各格子群間で異なってもよく、あるいは、一部の格子群間で同一であってもよい。図13では、屈折率変化部（Da2a, Da2b, Da2c, ...）に関して、ピッチ間隔 $\Lambda_m$ 、厚み $d_m$ 、奥行き長さ $L_m$ は、すべて同一となっている。本発明では、ピッチ間隔 $\Lambda_m$ 、厚み $d_m$ 、奥行き長さ $L_m$ に関しては、屈折率変化部（Da2a, Da

2b, Da2c, ...）で同一であることが好ましい。

【0182】図13及び14では、説明を容易にするために、プラスチック透過型回折格子（Da1, Da11）を直方体として表現し、各屈折率変化部Da2を断面が略楕円形の略円柱形状として表現しているが、それぞれ、如何なる形状のものであってもよく、またその大きさも特に制限されない。本発明では、プラスチック透過型回折格子（Da1, Da11）としては、略直方体（特に、すべての面が直角で交わっている直方体）の形状を有していることが好ましい。また、各屈折率変化部Da2としては、断面が略楕円形の略円柱形状の形態を有していてもよく、略直方体（特に、すべての面が直角で交わっている直方体）の形状を有していてもよい。

【0183】なお、各屈折率変化部（Da2a1, Da2a2, ..., Da2ax）の合計数（すなわち、屈折率変化部Da2aに含まれる各屈折率変化部の数）などの各格子群（Da3a, Da3b, Da3c）に含まれる屈折率変化部の数は特に制限されない。また、各格子群（Da3a, Da3b, Da3c）に含まれる屈折率変化部の数は、各格子群間で同一であってもよく、異なってもよい。

【0184】さらにまた、格子群の数は特に制限されない。例えば、図13で示されているように格子群の数が2であってもよく、図14で示されているように格子群の数が3であってもよい。本発明では、格子群の数としては、例えば、2～10（好ましくは2～4）程度の範囲から選択してもよい。なお、格子群の数が3以上である場合、各格子群中の互いに平行な複数の屈折率変化部における互いに対向している面 $F_{m2}$ の面方向は、隣接する格子群の間で互いに非平行となっていれば、隣接していない格子群の間では非平行、平行のいずれであってもよい。

【0185】層状に形成されている複数の格子群における格子群間の距離（層間距離）は、特に制限されず、例えば、 $5\sim 100\mu\text{m}$ 、好ましくは $5\sim 50\mu\text{m}$ 程度の範囲から選択することができる。

【0186】このようなプラスチック透過型回折格子Da（Da1, Da11）は、具体的には、例えば、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーをプラスチック構造体の内部に焦点を合わせて2光束干渉で照射するとともに、その焦点位置を、該焦点位置の移動により形成される屈折率変化部を互いに平行に複数有している格子群がそれぞれ層状となるように、且つ各格子群中の互いに平行な複数の屈折率変化部における互いに対向している面の面方向が、隣接する格子群の間で互いに非平行となるように、移動させて2光束干渉で照射することにより、製造することができる。なお、2光束干渉でレーザーを照射する方法としては、例えば、図15で示されているように2台のレーザーを用いて照射する方法や、ビームスプリッター（例えば、ハーフミラー、プリズム、グレ

ーティングなど)を用いて1台のレーザーによる光を分光して照射する方法などを採用することができる。

【0187】さらに具体的には、例えば、図15で示されるように、プラスチック透過型回折格子Da1は、屈折率(n)を有するプラスチック構造体Da12の内部における特定の部位に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザー(Da51, Da52)の焦点を合わせてプラスチック構造体Da12の外部から2光束干渉で照射して該焦点位置を移動させることにより、屈折率が変化した屈折率変化部Da2bを互いに平行に複数形成させた後、さらに、前記屈折率変化部Da2bより上方又は表面側に、屈折率変化部Da2aを互いに平行に複数形成するとともに、該互いに平行な複数の屈折率変化部Da2aにおける互いに対向している面 $F_{Da2a}$ の面方向が、前記互いに平行な複数の屈折率変化部Da2bにおける互いに対向している面 $F_{Da2b}$ の面方向と異なっているように形成させて、作製することができる。

【0188】図15はプラスチック透過型回折格子Daを作製する方法の一例を示す概略図である。具体的には、図13に係るプラスチック透過型回折格子Da1を作製する方法の一例を示す概略図である。図15において、Da1、Da1a、(Da2a1, Da2a2, ..., Da2ax)、Da2a、Da3a、(Da2b1, Da2b2, ..., Da2bx)、Da2b、Da3b、 $F_{Da2a}$ 、 $F_{Da2b}$ は、それぞれ、図13と同様である。Da12はプラスチック構造体、Da51はパルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザー(単に「レーザー」と称する場合がある)、Da52はレーザー、Da51aはレーザーDa51の照射方向、Da52aはレーザーDa52の照射方向であり、Da61はレーザーDa51の焦点を調整するためのレンズ、Da62はレーザーDa52の焦点を調整するためのレンズである。なお、レーザー(Da51, Da52)をレーザーDa5と総称する場合がある。また、レンズ(Da61, Da62)をレンズDa6と総称する場合がある。

【0189】プラスチック構造体Da12は、プラスチック透過型回折格子Da1を作製するための材料となるものであり、屈折率がnであるプラスチック材料から形成されている。そして、プラスチック構造体Da12の内部に格子群Da3aと、格子群Da3bとが形成されたものが、プラスチック透過型回折格子Da1となる。屈折率変化部Da2(Da2a, Da2b)は、レーザーDa5の照射による影響を受けて屈折率が変化した部位であり、格子群Da3a内では、隣接する屈折率変化部(Da2a1, Da2a2, ..., Da2ax)は互いに平行な位置関係を有しているとともに、格子群Da3b内では、隣接する屈折率変化部(Da2b1, Da2b2, ..., Da2bx)は互いに平行な位置関係を有し、且つ格子群Da3a中の屈折率変化部(Da2a

1, Da2a2, ..., Da2ax)における互いに対向している面 $F_{Da2a}$ の面方向と、格子群Da3b中の屈折率変化部(Da2b1, Da2b2, ..., Da2bx)における互いに対向している面 $F_{Da2b}$ の面方向とは非平行な[図13ではこれら2つの面方向間の面角は $90^\circ$ となっている]位置関係を有している。また、屈折率未変化部Da4は、レーザーDa5の照射による影響を受けておらず、屈折率が変化していない部位であり、元の屈折率(構造)を保持している。すなわち、屈折率未変化部Da4は、元の状態又は形態を保持している。従って、プラスチック透過型回折格子Da1は、屈折率未変化部Da4内に、特定のピッチ間隔を隔てて互いに平行な屈折率変化部(Da2a1, Da2a2, ..., Da2ax)からなる格子群Da3aと、特定のピッチ間隔を隔てて互いに平行な屈折率変化部(Da2b1, Da2b2, ..., Da2bx)からなる格子群Da3bとが、格子群Da3a中の屈折率変化部(Da2a1, Da2a2, ..., Da2ax)における互いに対向している面 $F_{Da2a}$ の面方向と、格子群Da3b中の屈折率変化部(Da2b1, Da2b2, ..., Da2bx)における互いに対向している面 $F_{Da2b}$ の面方向とが非平行な位置関係で、形成されている(積層されている)。

【0190】レーザーDa51と、レーザーDa52とは、それぞれ、照射方向Da51a、照射方向Da52aの向きで、プラスチック構造体Da12に向けて、2光束干渉で照射している。従って、レーザーDa51とレーザーDa52とは異なる位置から同時に照射しており、X-Y面に対して平行および垂直でない方向( $0^\circ$ より大きく $90^\circ$ より小さな角度の方向)から照射している。また、レーザーDa51の焦点の位置と、レーザーDa52の焦点の位置とは、同一又は近い位置となっており、レーザーDa51とレーザーDa52との2つのレーザーからの照射光をその焦点位置又はその近傍で干渉させている。なお、レーザーDa5はレンズDa6を用いることにより焦点を絞って合わせることができる。従って、レーザーDa5の焦点を絞って合わせる必要がない場合などでは、レンズDa6を用いる必要がない。

【0191】また、プラスチック構造体Da12は略直方体であり、その上面はX-Y平面と平行な面(またはZ軸と垂直)となっている。なお、プラスチック構造体Da12としては、直方体を用いているが、如何なる形状のものであってもよく、その大きさも特に制限されない。

【0192】また、図15において、Da71a, Da72a, ..., Da7xaは、格子群Da3bを形成するために、それぞれレーザーDa5の照射をし始めたときの焦点を合わせた最初の位置又はその中心位置(「照射開始位置」と称する場合がある)である。照射開始位

10

20

30

40

50



置(Da71a, Da72a, ..., Da7xa)は、同一のX-Y面上でかつX軸上の位置が同じであるとともに、Y軸上の位置が異なり、特定の間隔があげられている。すなわち、照射開始位置(Da71a, Da72a, ..., Da7xa)は、プラスチック構造体Da12の上面Da1aから一定の深さに設定され、且つ同一のY軸方向に等間隔の間隔で設けられている。

【0193】一方、Da71b, Da72b, ..., Da7xbはそれぞれレーザーDa5の照射を終えたときの焦点を合わせた最終の位置又はその中心位置(「照射終了位置」と称する場合がある)である。該照射終了位置(Da71b, Da72b, ..., Da7xb)も、前記照射開始位置(Da71a, Da72a, ..., Da7xa)と同様に、プラスチック構造体Da12の上面Da1aから一定の深さに設定され、且つ同一のY軸方向に等間隔の間隔で設けられている。

【0194】Da71c, Da72c, ..., Da7xcはそれぞれレーザーDa5の照射の焦点又はその中心位置(単に「焦点位置」と称する場合がある)が照射開始位置(Da71a, Da72a, ..., Da7xa)から照射終了位置(Da71b, Da72b, ..., Da7xb)に移動する移動方向であり、X軸と平行な方向である。Da71, Da72, ..., Da7xはそれぞれ照射開始位置(Da71a, Da72a, ..., Da7xa)のレーザーDa5の照射の焦点位置又は焦点の中心位置が移動した軌跡(「焦点位置軌跡」と称する場合がある)である。Da8は隣接した照射開始位置(Da71a, Da72a, ..., Da7xa)間の距離(最短距離)である。

【0195】図15では、レーザーDa5の焦点位置を、それぞれ、照射開始位置(Da71a, Da72a, ..., Da7xa)から照射終了位置(Da71b, Da72b, ..., Da7xb)にかけて、焦点位置の移動方向(Da71c, Da72c, ..., Da7xc)の方向で、連続的に直線的に移動させており、該移動した焦点位置の軌跡が焦点位置軌跡(Da71, Da72, ..., Da7x)となっている。該焦点位置軌跡(Da71, Da72, ..., Da7x)において、焦点位置が移動した方向(Da71c, Da72c, ..., Da7xc)は、レーザーDa51の照射方向Da51aおよびレーザーDa52の照射方向Da52aと垂直な方向(図15では、X軸と平行な方向)である。従って、屈折率変化部Da2bの長手方向は、移動方向(Da71c, Da72c, ..., Da7xc)の方向(X軸と平行な方向)であり、一方、屈折率変化部Da2bにおける互いに対向している面の面方向は、X-Z平面と平行な方向である。

【0196】また、照射開始位置(Da71a, Da72a, ..., Da7xa)間の距離Da8は、照射終了位置(Da71b, Da72b, ..., Da7xb)間

の距離や、焦点位置軌跡(Da71, Da72, ..., Da7x)間の距離(最短距離)に相当している。従って、隣接した照射開始位置(Da71a, Da72a, ..., Da7xa)間の距離Da8は、格子のピッチ間隔 $\Lambda_b$ と格子の厚み $d_b$ とを足した距離( $\Lambda_b + d_b$ )に相当している。

【0197】より具体的には、まず、照射開始位置Da71aから照射終了位置Da71bにかけて焦点の移動方向Da71cの方向で、同時に照射しているレーザー(Da51, Da52)の同一の焦点位置を連続的に直線的に移動させて、レーザーの照射を行う。この際、レーザーDa51と、レーザーDa52とは、それぞれ、焦点の移動方向Da71cに対して平行となるように移動させることが好ましい。なお、屈折率変化部(Da2b1, Da2b2, ..., Da2bx)の幅を変化させる場合(例えば、広げたり狭めたりする場合)は、この限りではない。以下同様に、両レーザー(Da51, Da52)を配置させて照射することができる。

【0198】その後、前記照射開始位置Da71aと同じX-Y面上にありかつX軸上の位置が同じでY軸上の位置が距離Da8だけ移動した位置である焦点開始位置Da72aから、前記移動方向Da71cと平行な方向である移動方向Da72cの方向で、前記照射終了位置Da71bと同一のX軸の位置となる照射終了位置Da72bまで、レーザー(Da51, Da52)の焦点位置をともに連続的に直線的に同時に移動させて、レーザーの照射を行う。以下、同様に、順次、レーザーの照射を行うことにより、プラスチック構造体Da12の中にピッチ間隔 $\Lambda_b$ の距離を保って、互いに平行な位置関係を有する複数の屈折率変化部(Da2b1, Da2b2, ..., Da2bx)を形成して、格子群Da3bを形成する。そして、前記格子群Da3bの屈折率変化部(Da2b1, Da2b2, ..., Da2bx)のレーザーの照射による作製方法と同様に、照射開始位置のプラスチック構造体Da12の上面からの深さや、焦点位置が移動する方向などを適宜調整してレーザーを照射して、互いに平行な位置関係を有する複数の屈折率変化部(Da2a1, Da2a2, ..., Da2ax)からなる格子群Da3aを、該格子群Da3aの屈折率変化部(Da2a1, Da2a2, ..., Da2ax)における互いに対向している面の面方向が、前記格子群Da3bの屈折率変化部(Da2b1, Da2b2, ..., Da2bx)における互いに対向している面の面方向と非平行な方向[図13ではこれら2つの面方向間の面角は90°となっている]となるように形成させることにより、回折格子として利用できるプラスチック透過型回折格子Da1を作製することができる。

【0199】図15では、格子群(Da3a, Da3b)のうち、レーザーDa5を照射している側の面Da1aから見て下層側(遠方側)である格子群Da3b

を、上層側（近方側）である格子群D a 3 aより先に形成している。これは、上層側の格子群D a 3 aを先に形成すると、後で下層側の格子群D a 3 bを形成する際のレーザーD a 5の照射による影響を、先に形成されている格子群D a 3 aが受ける可能性があるためである。従って、本発明では、レーザーの照射する側の面から最も遠い側（最下層側）の格子群から順に、格子群をそれぞれ層状に複数形成することが好ましい。

【0200】本発明では、各格子群において、屈折率変化部が互いに平行な位置関係を保つように形成されてい

ればよく、レーザーD a 5の焦点の位置を、レーザーD a 5の照射方向（D a 5 1 a, D a 5 2 a）に対して、平行な方向や垂直な方向や斜め方向等に移動させることが出来る。また、本発明では、レーザーD a 5の焦点位置は、連続的又は間欠的に移動させることもできる。この様に、レーザーD a 5の焦点位置を移動させながら照射することにより、焦点位置の移動方向に連続的に形成された屈折率変化部D a 2を形成させることが出来る。

【0201】（再照射による作製方法）本発明では、超短パルスレーザーは、1回のみ照射してもよいが、さらに同一の照射部位に1回以上再照射してもよい。すなわち、超短パルスレーザーを照射する際には、1回のみ照射する方法や、1回照射した部位にレーザーを1回以上再照射する（再度照射して上書きする）方法を採用することができる。このように、再照射を行うことにより、プラスチック構造体の内部において、パルスレーザーにより照射された部位及びその周辺部の屈折率がさらに大きく変化させることができる。

【0202】具体的には、例えば、図6で示されるように、屈折率（n）を有するプラスチック構造体A 1 1の内部における特定の部位に、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーA 4の焦点を合わせてプラスチック構造体A 1 1の外部から照射し、さらに、前記レーザーを焦点を合わせて照射した部位にレーザーを1回以上再照射する（再度照射して上書きする）ことにより、より一層大きく屈折率が変調させられた屈折率変調部A 2を互いに平行に複数形成させて作製することができる。

【0203】再照射する際の照射回数は、特に制限されず、目的とする屈折率変調部の変調度合いに応じて適宜選択することができ、複数回（例えば、2～10回程度、好ましくは2～5回程度）であってもよい。

【0204】より具体的には、図6で示されるプラスチック透過型回折格子の作製方法を例にとって説明すると、まず、照射開始位置A 6 1 aから照射終了位置A 6 1 bにかけて焦点の移動方向A 6 1 cの方向で、レーザーA 4の焦点位置を連続的に直線的に移動させて、レーザーの照射を行う。その後、前記照射開始位置A 6 1 aと同じX-Y面上にありかつX軸上の位置が同じでY軸上の位置が距離A 7だけ移動した位置である焦点開始位置A 6 2 aから、前記移動方向A 6 1 cと平行な方向で

ある移動方向A 6 2 cの方向で、前記照射終了位置A 6 1 bと同一のX軸の位置となる照射終了位置A 6 2 bまで、レーザーA 4の焦点位置を連続的に直線的に移動させて、レーザーの照射を行う。以下、同様にして、順次、レーザーの照射を行うことにより、プラスチック構造体A 1 1の中にピッチ間隔 $\Lambda_x$ の距離を保って、互いに平行な位置関係を有する複数の屈折率変調部（A 2 1, A 2 2, ..., A 2 x）を形成して、レーザーA 4の1回目の照射を行う。その後さらに、前記レーザーA 4の1回目の照射方法と同様にして、前記照射開始位置（A 6 1 a, A 6 2 a, ..., A 6 x a）と同一又はほぼ同一の位置から、前記照射終了位置（A 6 1 b, A 6 2 b, ..., A 6 x b）と同一又はほぼ同一の位置にかけて、焦点位置の移動方向（A 6 1 c, A 6 2 c, ..., A 6 x c）と同一又はほぼ同一の方向で、連続的に直線的に移動させて、レーザーA 4の再照射を行う。この再照射は、必要に応じて、複数回行うことができる。また、再照射での照射条件（例えば、レーザーA 4の焦点位置の移動速度、レーザーA 4のパルス幅の大きさや照射エネルギーの大きさ、レーザーA 4の焦点を調整するためのレンズの開口数など）は、1回目の照射条件と同一であってもよく、異なってもよい。また、再照射を複数回行う場合は、各再照射で照射条件が異なってもよい。

【0205】このような再照射は、複数の屈折率変化部（屈折率変調部）を形成する場合、前述のように、複数の屈折率変調部を形成するための1回目のレーザーの照射をすべて行った後に、レーザーの再照射を行う方法であってもよく、または、1つの屈折率変調部を形成するための1回目のレーザーの照射を行った後に、該レーザーを照射した部位にレーザーの再照射を行って、1つの屈折率変調部を形成した後、さらに、他の屈折率変調部を形成するための1回目のレーザーの照射を行った後に、該レーザーを照射した部位にレーザーの再照射を行う方法であってもよい。いずれにせよ、レーザーを1回照射した部位に上書きするように再照射して、その結果として、屈折率変調部を単数又は複数形成することができる。

【0206】このように、レーザーA 4を1回目の照射部位に対して、再照射を1回以上行うことにより、屈折率未変化部（屈折率未変調部）の屈折率に対する屈折率の差が大きい屈折率変調部を形成することができる。

【0207】なお、前記プラスチック透過型回折格子（A, B, C, Dなど）の作製方法において、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザーの焦点位置を移動させる速度（移動速度）は、特に制限されず、プラスチック透過型回折格子を作製するための材料となるプラスチック構造体の材質やレーザーの照射エネルギーの大きさ等に応じて適宜選択することができる。

【0208】レーザーの焦点位置の深さとしては、通

常、プラスチック透過型回折格子を作製するための材料となるプラスチック構造体の上面から  $10\ \mu\text{m}$  以上且つ下面から  $50\ \mu\text{m}$  以上の距離を有する位置に設定される。レーザーの焦点位置の深さが、余り深くないと前記プラスチック構造体の表面にアブレーションなどが起こり、表面に凹凸状等の構造が形成されることになり得られた回折格子が、目的とする透過型回折以外に表面型回折を起こすことになるため、好ましくない。一方、逆に深すぎると前記プラスチック構造体の下面に近づき過ぎて、照射したレーザーが下面を貫通して下面にアブレーションなどにより、前記と同様に、下面の表面に凹凸状等の構造が形成されることになるため、好ましくない。

【0209】なお、レーザーの照射により屈折率が変化した屈折率変化部は、超短パルスレーザーの焦点位置又は照射位置を起点にし、照射方向側に屈折率が変化した屈折率変化部位が連続して、焦点位置の移動方向（長手方向）に向かって形成されているような状態又は形態として作製することができる。例えば、焦点位置を照射方向に垂直な方向に移動させた場合、長手方向に対する垂直断面形状が、焦点位置を起点として（すなわち、上端として）、照射方向に延びた又は拡がるような略長方形形状となり、該長手方向に対する垂直断面形状が焦点の移動方向（長手方向）に連続して形成されたような屈折率変化部が形成される。

【0210】なお、本発明では、屈折率変化部（屈折率変調部）において、屈折率の変化（変調）の程度は、不均一であってもよいが、均一であることが好ましい。

【0211】本発明では、屈折率変化部の大きさ、形状、構造の変化の程度は、レーザーの照射時間、レーザーの焦点位置の移動方向やその速度、プラスチック透過型回折格子を作製するための材料となるプラスチック構造体の材質の種類、レーザーのパルス幅の大きさや照射エネルギーの大きさ、レーザーの焦点を調整するためのレンズの開口数などにより適宜調整することができる。

【0212】[超短パルスレーザー] 図6、9、11、12、15などにおいて、超短パルスレーザーにおけるパルス幅は  $10^{-12}$  秒以下である。本発明では、超短パルスレーザーとしては、パルス幅が  $10^{-12}$  秒以下であれば特に制限されず、パルス幅が  $10^{-15}$  秒のオーダーのパルスレーザーを好適に用いることができる。パルス幅が  $10^{-15}$  秒のオーダーであるパルスレーザーには、パルス幅が  $1 \times 10^{-15}$  秒～ $1 \times 10^{-12}$  秒であるパルスレーザーが含まれる。より具体的には、超短パルスレーザーとしては、パルス幅が  $10 \times 10^{-15}$  秒～ $500 \times 10^{-15}$  秒（好ましくは  $50 \times 10^{-15}$  秒～ $300 \times 10^{-15}$  秒）程度であるパルスレーザーが好適である。

【0213】パルス幅が  $10^{-12}$  秒以下である超短パルスレーザーは、例えば、チタン・サファイア結晶を媒質とするレーザーや色素レーザーを再生・増幅して得ることができる。

【0214】超短パルスレーザーにおいて、その波長としては、例えば、可視光の波長領域（例えば、 $400 \sim 800\text{nm}$ ）であることが好ましい。また、超短パルスレーザーにおいて、その繰返しとしては、例えば、 $1\text{Hz} \sim 80\text{MHz}$  の範囲から選択することができ、通常、 $10\text{Hz} \sim 500\text{kHz}$  程度である。

【0215】なお、超短パルスレーザーの平均出力又は照射エネルギーとしては、特に制限されず、目的とする屈折率変化部の大きさや変化の程度等に応じて適宜選択することができ、例えば、 $500\text{mW}$  以下（例えば、 $1 \sim 500\text{mW}$ ）、好ましくは  $5 \sim 300\text{mW}$ 、さらに好ましくは  $10 \sim 100\text{mW}$  程度の範囲から選択することができる。前述のように、プラスチック透過型回折格子を作製するための材料となるプラスチック構造体は、無機ガラス材料に比べて熱伝導性やガラス転移温度が低く、無機ガラス材料と同じような励起構造を形成するのに必要な照射エネルギーとしては、無機ガラス材料に必要な照射エネルギーの  $1/10 \sim 1/100$  程度に低くすることができる。

【0216】また、超短パルスレーザーの照射スポット径としては、特に制限されず、目的とする屈折率変化部の大きさやその変化の程度、レンズの大きさや開口数又は倍率などに応じて適宜選択することができ、例えば、 $0.1 \sim 10\ \mu\text{m}$  程度の範囲から選択することができる。

【0217】[プラスチック構造体] プラスチック透過型回折格子を作製するための材料となるプラスチック構造体としては、パルス幅が  $10^{-12}$  秒以下の超短パルスレーザーをプラスチック構造体の外部から内部に照射することにより、プラスチック構造体の内部に、未照射部と異なった屈折率を有する、互いに平行な複数の屈折率変化部を形成させることが出来るプラスチック構造体であればよい。超短パルスレーザーによるレーザー加工を円滑に行うためには、 $400\text{nm} \sim 800\text{nm}$  の可視光波長領域において、 $10\%$  以上の光透過性を有するものが好適である。

【0218】また、プラスチック構造体としては、2つ以上のガラス転移温度を有するプラスチック材料によるものも好適である。2つ以上のガラス転移温度を有するプラスチック材料には、熱的な運動性が異なったお互いに相溶性のない2つ以上の成分を含んで構成された材料系が含まれる。このような材料系としては、2つ以上の異種材料のブレンド物（例えば、2種以上のホモポリマー及び/又はランダム共重合体のブレンド物、2種以上のブロック共重合体のブレンド物など）、2つ以上の異種成分から構成されたブロック共重合体などが挙げられる。該材料系は、単独で又は2種以上組み合わせて使用することができる。

【0219】これらの材料系の中で、異種材料のブレンド物はブレンドする各成分の成分比を変えることや分散

10

20

30

40

50

加工条件を変えることにより、その構造形態として、ドメイン状、シリンダー状、層状、共連続状などの様々な非相溶な形態を作り出す事が出来る。一方、ブロック共重合体並びにそれらのブレンド物（2種以上のブロック共重合体のブレンド物）は、ブロック的に結合された高分子鎖の非相溶性が系全体の非相溶性を担っているの

で、その構造形態としては前記例示の非相溶な形態が挙げられ、該非相溶な形態としては、ブレンド物よりもより一層微細なものにすることが出来る。

【0220】例えば、ガラス転移温度が常温（例えば、23℃）以下であるプラスチック材料は、常温近傍の温度において十分な柔軟性を有している。そのため、非相溶性成分として、常温（例えば、20～25℃、特に23℃）以下のガラス転移温度を有するプラスチック材料を含むブレンド物の材料系では、各プラスチック材料の成分比を調整することにより、常温において任意に柔軟性を調整することができ、取り扱いを容易にすることが可能である。

【0221】また、例えば、2つのガラス転移温度を有する材料系において、常温（例えば20～25℃、特に23℃）以下のガラス転移温度（ $T_{g1}$ ）を示す成分（ $T_{g1}$ 成分）が低温側のガラス転移温度を示す成分である場合には、高温側のガラス転移温度を示す成分（ $T_{g2}$ 成分）のガラス転移温度（ $T_{g2}$ ）以上の温度（ $T_3$ ）から温度を降下させる（低下させる）と、まず、温度 $T_{g2}$ の近傍で、 $T_{g2}$ 成分は運動性が低下して固化するが、 $T_{g1}$ 成分はまだ十分な運動性を有した状態で常温（例えば20～25℃、特に23℃）まで冷却されることになる。このとき、特に、温度 $T_{g1}$ と $T_3$ とが一定の場合、2つのガラス転移温度（ $T_{g1}$ 、 $T_{g2}$ ）の温度差（ $T_{g2} - T_{g1}$ ）が大きい程、 $T_{g2}$ 成分はより速く固化することになり、常温までの冷却過程では、高温側のガラス転移温度を示す成分（ $T_{g2}$ 成分）が固化した状態での低温側のガラス転移温度を示す成分（ $T_{g1}$ 成分）のみの運動期間が長くなる。しかも、特に、低温側のガラス転移温度 $T_{g1}$ が常温（例えば、20～25℃、特に23℃）以下であると、常温まで冷却される過程で、すなわち、 $T_{g2} \sim$  常温の温度領域で、 $T_{g1}$ 成分による十分な運動性と緩和性とを保ちながら、相分離構造が形成されることになる。

【0222】超短パルスレーザーの照射によりプラスチック構造体を加工する方法において、超短パルスレーザーが照射された照射部やその近辺部は、プラズマ発生など化学的・物理的作用を受けながら、局部的に高温状態となり、その後、レーザーの照射の終了や、照射されている部位の移動に伴い、温度が低下して、通常は常温に戻される。従って、例えば、2つのガラス転移温度を有し且つ低温側のガラス転移温度が常温付近又は常温以下であるプラスチック材料系に、超短パルスレーザーを照射した場合には、レーザーの照射開始から照射終了の過

程において、上記のような相分離構造の形成が起こり、その結果として、制御された誘起構造が形成される。すなわち、屈折率変化部の構造（誘起構造）を精密に制御することができる。例えば、 $T_{g2}$ 成分の単独材料系では、超短パルスレーザーの照射によって照射部に熱衝撃的なクラック等の劣化が発生するような照射条件においても、 $T_{g2}$ 成分のガラス転移温度 $T_{g2}$ よりも低温側にガラス転移温度を示す成分（ $T_{g1}$ 成分）をブレンドしたり、 $T_{g2}$ 成分を含む分子内に、ブロック共重合により $T_{g1}$ 成分を組み込んだりすることにより、安定的な誘起構造を、クラックを発生すること無く形成することが出来る。

【0223】また、プラスチック材料が、外部からの超短パルスレーザーの照射によって、架橋（硬化）反応を起こすプラスチック材料系であると、上述の相分離構造の形成が、架橋（硬化）により固定化されるので、より一層、誘起された構造が安定化される可能性がある又は高まる。

【0224】さらにまた、2つ以上のブロックからなるブロック共重合体高分子鎖におけるミクロ相分離により、2つ以上のガラス転移温度が発現されている場合には、通常の異種成分のブレンド系に比べて形成されるミクロドメイン構造等を、サブミクロン以下の大きさにまで小さく出来るので、透明性に優れたフィルムを作製することが出来る。

【0225】これらのプラスチック材料に超短パルスレーザーの照射を行うと、レーザーの照射部において、一旦ミクロドメイン熱溶解が起こり、照射の終了や照射部の移動により、再度相分離構造が形成されることになる。この相分離構造の再生時に架橋（硬化）反応などが並列的に起こると、相分離が一層促進され、出来上がった相分離構造は、元の相分離構造よりもドメイン構造などの寸法や形態が大きくなる場合がある。また、相分離形態のプラスチック構造体（前述のようにして形成されたドメインなどの相分離構造物）が、特定の成分を選択的に含んだり、架橋（硬化）や光異性化などを起こしたりすることにより、元の成分とは異なるように化学的変化を起こしている場合には、屈折率の変化（変調）を起こす場合がある。このような屈折率が変化したものが、本発明の目的に合った構造物であり、回折格子等の光学素子として用いることができる。

【0226】なお、本発明では、屈折率変化部（屈折率変調部）におけるドメインの構造部の屈折率は、屈折率が変化していない屈折率未変化部（屈折率未変調部）におけるドメインの構造部の屈折率に対して、0.0005以上異なっていれば（すなわち、前記各部の屈折率の差が0.0005以上であれば）、回折格子等の光学素子として有効に使用出来る。従って、本発明では、屈折率変調部と、屈折率未変調部との屈折率の差が0.0005以上となるように、屈折率変調部の屈折率を変調さ

せることが好ましい。屈折率変調部の屈折率と、屈折率未変調部の屈折率との差としては、0.0005以上（好ましくは0.0008以上、さらに好ましくは0.001以上）であることが望ましい。また、前記屈折率差は、0.005以上（特に0.01以上）であると、回折格子等の光学素子としてより一層有効に使用できる。

【0227】特に本発明では、屈折率変調部の屈折率変調の値（ $\Delta n$ ）が $5 \times 10^{-4}$ 以上（好ましくは $8 \times 10^{-4}$ 以上、さらに好ましくは $1 \times 10^{-3}$ 以上）であることが好適である。なお、屈折率変調部の屈折率変調の値（ $\Delta n$ ）は、下記式（3a）及び（3b）により求めることができる。

$$\eta_1 = J_1^2(\delta) \quad (3a)$$

$$\delta = 2\pi \Delta n L / (\lambda \cos \theta) \quad (3b)$$

（式（3a）及び（3b）において、 $J_1(\delta)$ は指数1のBessel関数、 $\Delta n$ は屈折率変調の値、 $L$ は複数の屈折率変調部の対向する面の奥行き長さ、 $\lambda$ は回折される光の波長、 $\theta$ は入射角である。）

【0228】なお、屈折率変調部の屈折率変調の値（ $\Delta n$ ）は、屈折率変調部の屈折率と、屈折率未変調部の屈折率との差に相当する。

【0229】超短パルスレーザーの照射により少なくとも相分離を起こすことができ、且つ2つ以上のガラス転移温度を発現するプラスチック材料としては、各種の高分子材料を組み合わせる用いることができる。このような高分子材料の組み合わせは数多くあり、むしろ異種成分高分子材料の組み合わせで相分離を起こさずに相溶して単一のガラス転移温度を示す組み合わせの方が少ないといえる。従って、本発明では、このような数多くある組み合わせを利用することができ、極めて実用性が高い。なお、高分子材料の相溶性やガラス転移温度などの各種特性は、例えば、ポリマーハンドブックなどに記載されている。

【0230】超短パルスレーザーの照射により相分離を起こすことができるとともに、2つ以上のガラス転移温度を発現するプラスチック材料の組み合わせの中で、例えば、低温側のガラス転移温度が常温（例えば、20～25℃、特に23℃）以下で光学的に透明性を有するアモルファスな成分としては、例えば、ポリイソプレンやポリブタジエンなどのポリジエン類；ポリイソブチレンなどのポリアルケン類；ポリアクリル酸ブチル、ポリアクリル酸エチルなどのポリアクリル酸エステル類；ポリブトキシメチレンなどのポリビニルエステル類；ポリウレタン類；ポリシロキサン類；ポリサルファイド類；ポリフォスファゼン類；ポリトリアジン類；ポリカーボラン類などが挙げられる。なお、これらのうちポリジエン類、ポリアルケン類、ポリアクリル酸エステル類、ポリシロキサン類などは、ガラス転移温度が低いことを利用して粘着剤の構成成分として幅広く使用されている。

【0231】また、高温側にガラス転移温度を有し光学的に透明性の高い材料としては、ポリカーボネート（PC）；ポリメチルメタクリレート（PMMA）などのメタクリレート系樹脂；ポリエチレンテレフタレート（PET）などのポリエステル系樹脂；ポリエーテルスルホン；ポリノルボルネン；エポキシ系樹脂；ポリアリール；ポリイミド；ポリエーテルイミド（PEI）；ポリアミドイミド；ポリエステルイミド；ポリアミド；ポリスチレン、アクリロニトリル-スチレン共重合体（AS樹脂）、アクリロニトリル-ブタジエン-スチレン共重合体（ABS樹脂）などのスチレン系樹脂；ポリフェニレンエーテルなどのポリアリーレンエーテル；ポリアリレート；ポリアセタール；ポリフェニレンスルフィド；ポリスルホン（ポリサルホン）；ポリエーテルエーテルケトンやポリエーテルケトンケトンなどのポリエーテルケトン類などが挙げられる。

【0232】2つ以上のブロックからなるブロック共重合体の高分子鎖のミクロ相分離により、2つ以上のガラス転移温度を有するブロック共重合体は、上記の低温側にガラス転移温度を発現する成分と、高温側にガラス転移温度を発現する成分とを適当に組み合わせ、ブロック共重合体となるように重合（共重合）して、共重合化すれば良い。重合方法（共重合方法）としては、特に制限されず、例えば、リビングアニオン重合法、リビングカチオン重合法、リビングラジカル重合法などの公知のリビング重合法を採用することができる。

【0233】なお、このような熱可塑性樹脂材料のガラス転移温度は、2つ以上であれば、2つであってもよく、3つ以上であってもよい。該熱可塑性樹脂材料としては、2つのガラス転移温度を有するポリマーが好適であり、特に、2つのガラス転移温度を有するブロック共重合体からなるポリマーが好ましい。

【0234】また、フッ化ビニリデン系樹脂、ヘキサフルオロプロピレン系樹脂、ヘキサフルオロアセトン系樹脂等のフッ素系樹脂を用いることもできる。

【0235】さらにまた、ポリシラン等のポリシラン系ポリマーが配合されていても良い。プラスチック材料にポリシラン系ポリマーが含まれていると、プラスチック材料の機械的特性を向上させることができ、優れた作業性で誘起構造部を形成することができる。また、ポリシラン系ポリマーは、光照射により構造がケイ素-ケイ素結合（Si-Si結合）が切断されて、シロキサン結合（Si-O-Si結合）やシラノール基（Si-OH）が生成して、屈折率が大きく変化したり（例えば、低下したり）、ラジカルを発生したりするなどの特徴を有しており、複合材料として有用である。なお、ポリシラン系ポリマーは、ケイ素-ケイ素結合を有する主鎖から構成されているポリマーである。主鎖のケイ素原子に置換している置換基としては、特に制限されず、例えば、水素原子、有機基、ハロゲン原子などが挙げられる。ポリ

シラン系ポリマーは、ホモポリマーであってもよく、コポリマーであってもよい。具体的には、ポリシラン系ポリマーとしては、例えば、ポリ（ジメチルシラン）、ポリ（メチルエチルシラン）、ポリ（メチルプロピルシラン）、ポリ（メチルブチルシラン）、ポリ（メチルヘキシルシラン）、ポリ（ジヘキシルシラン）、ポリ（ジドデシルシラン）等のポリ（アルキルアルキルシラン）；ポリ（メチルシクロヘキシルシラン）等のポリ（アルキルシクロアルキルシラン）；ポリ（メチルフェニルシラン）等のポリ（アルキルアリールシラン）；ポリ（ジフェニルシラン）等のポリ（アリールアリールシラン）；ポリフェニルシリン、ポリメチルシリン等のケイ素原子の3次元構造を有する（ケイ素原子が3次的に結合された構造を有する）ケイ素原子含有ポリマーなどのホモポリマーや、ポリ（ジメチルシラン-メチルシクロヘキシルシラン）、ポリ（ジメチルシラン-メチルフェニルシラン）などのコポリマーなどが挙げられる。

【0236】高分子材料（ポリマー）の分子量（重量平均分子量など）は特に制限されない。高分子材料の分子量（重量平均分子量など）は、目的とするプラスチック材料に応じて適宜選択することができ、例えば、1,000以上（好ましくは10,000～500,000程度）の範囲から選択することができる。

【0237】超短パルスレーザーを照射し、レーザー加工を行うプラスチック材料としては、上記の様なブレンドや共重合体などの2つ以上のガラス転移温度を有するプラスチック材料に限定されるものではなく、上述の低温側にガラス転移温度を有する材料並びに高温側にガラス転移温度を有する材料として例示した様なプラスチック材料単独でも目的とする屈折率変調部（例えば、回折格子等として利用できる構造物）が、超短パルスレーザーの照射によって形成されるのであれば、使用できる。また、プラスチック材料単独だけでなく、無機化合物（無機高分子を含む）や金属化合物などの他の材料を分散状態で含んだ複合体や他の材料を層状の状態で含んだ積層体であってもよい。

【0238】以上、プラスチック透過型回折格子について説明したが、本発明には、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下のレーザーの照射により、プラスチック構造体の内部に、屈折率が変調した屈折率変調部を単数又は複数有するプラスチック光学素子も含まれる。すなわち、プラスチック透過型回折格子としては、複数の屈折率変化部を有していることが重要であるが、プラスチック透過型回折格子以外のプラスチック光学素子では、屈折率変化部は単数であってもよい。なお、プラスチック光学素子は、高屈折率部材と低屈折率部材とが組み合わされた形態を有しており、高屈折率部材と低屈折率部材との屈折率差が、光学素子としての機能に寄与しているので、高屈折率部材と低屈折率部材との屈折率差が大きい方が好ましい。従って、このようなプラスチック光学素子は、

レーザーを照射した部位にレーザーをさらに1回以上再照射して、屈折率をさらに変調させることが好ましい。

【0239】なお、プラスチック光学素子は、そのままプラスチック部材として用いてもよく、他の部材と組み合わせ用いてもよい。屈折率変調部を有するプラスチック光学素子は、延伸や収縮などの加工処理を行い、さらに必要に応じて後処理を行うこともできる。すなわち、屈折率変調部を有するプラスチック光学素子には、任意の加工や処理を施すことが可能である。

【0240】プラスチック光学素子は、回折格子（プラスチック透過型回折格子など）の他、例えば、拡散板や散乱素子などの光機能部材；精密な空間や流路などの形成用スペーサー機能を利用したマイクロマシンやセンサー；電氣的探針；バイオ機器；マイクロリアクターチップ；埋め込み型人工臓器などの高機能なレーザー加工品の他、光導波路などとして好適に利用することができる。

【0241】

【発明の効果】本発明では、プラスチック透過型回折格子は、高い回折効率を有しているものであっても、プラスチック構造体に対して、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーを焦点位置又は照射位置を移動させながら照射するという簡単な方法により、作製することができる。

【0242】また、本発明のプラスチック透過型回折格子が、隣接する屈折率変化部の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化しているプラスチック透過型回折格子である場合、高い回折効率を有しており、しかも、隣接する屈折率変化部の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化しているので、最適な出力で回折することができる光が特定の波長に限定されず、入射光の入射位置を調整するだけで出射光の出力を最適化することができる。また、このような隣接する屈折率変化部の間隔が一方の側から他方の側にかけて変化しているプラスチック透過型回折格子は、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーを焦点位置又は照射位置を移動させながら照射するという簡単な方法により、容易に作製することができる。

【0243】また、本発明では、プラスチック透過型回折格子は、高い回折効率を有しているものであっても、プラスチック構造体に対して、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーを焦点位置又は照射位置を移動させながら照射するという簡単な方法により、作製することができるだけでなく、しかも、プラスチック構造体の内部における任意の部位に、透過型回折格子として利用可能な誘起構造として、互いに平行な位置関係を有する複数の誘起構造とともに、該誘起構造に対して交差し且つ互いに平行な位置関係を有している複数の誘起構造を形成することが可能である。

【0244】さらにまた、本発明のプラスチック透過型



回折格子の製造方法では、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーを焦点位置又は照射位置を移動させながら照射するという簡単な方法により、容易に、高い回折効率を有しているプラスチック透過型回折格子を作製することができ、しかも、隣接する屈折率変化部間の平行間隔を容易に調整することができる。

【0245】さらに、本発明では、プラスチック透過型回折格子は、高い回折効率を有しているものであっても、プラスチック構造体に対して、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下の超短パルスレーザーを焦点位置又は照射位置を移動させながら照射するという簡単な方法により、作製することができるだけでなく、しかも、プラスチック構造体の内部における任意の部位に、透過型回折格子として利用可能な誘起構造としての互いに平行な位置関係を有する複数の誘起構造からなる格子群をそれぞれ層状に、且つ該格子群中の誘起構造における互いに対向している面の面方向が隣接する格子群間で異なっているような形態で形成することが可能である。特に本発明の方法では、誘起構造である格子の大きさが小さいプラスチック透過型回折格子であっても容易に製造することが可能である。

【0246】従って、プラスチック構造体の内部における任意の部位に、透過型回折格子として利用可能な誘起構造を形成することが可能であり、回折格子の設計の自由度を高めることができる。

【0247】また、本発明のプラスチック透過型回折格子は、プラスチック特有の軽量・柔軟性・屈曲性・強靱性を有している。さらに、目的に応じた材料選択の範囲が広く、機械的特性や光学的特性などの特性範囲が広い。

【0248】そのため、本発明のプラスチック透過型回折格子は、目的とする種々の特性を有するものを容易に得ることができ、実用性が極めて優れている。

【0249】さらにまた、本発明のプラスチック光学素子の製造方法によれば、パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザーの照射により、プラスチック構造体の内部における任意の部位に、光学素子として利用可能な誘起構造部が形成され、該誘起構造部の屈折率の変調度合いが大きいプラスチック光学素子を容易に作製することができる。従って、高い回折効率を有しているプラスチック光学素子であっても容易に作製することができ、回折格子以外の光学素子であっても、光学素子の設計の自由度が高い。

【0250】もちろん、このような、プラスチック透過型回折格子などのプラスチック光学素子は、プラスチック特有の軽量・柔軟性・屈曲性・強靱性を有しており、さらに、目的に応じた材料選択の範囲が広く、機械的特性や光学的特性などの特性範囲が広い。

【0251】

【実施例】以下に実施例を挙げて本発明をより具体的に

説明するが、本発明はこれらの実施例により限定されるものではない。

【0252】（プラスチック透過型回折格子Aの実施例について）

（実施例1）重合用容器に、モノマー成分としてアクリル酸ブチル（BA）と、アクリル酸エチル（EA）とを等モル比の割合で入れ、重合開始剤として2-プロモイソ酪酸エチル（前記モノマー成分全量に対して0.0012モル%）、重合触媒として臭化銅（前記モノマー成分全量に対して0.0012モル%）、助触媒として2,2'-ビピリジン系誘導体（前記モノマー成分全量に対して0.0036モル%）を用いた公知のリビングラジカル重合法により、まず、重量平均分子量約25,000のアクリル酸ブチル・アクリル酸エチルランダム共重合体〔ポリ（BA・EA）ランダム共重合体〕を作製した。引き続いて、前記ポリ（BA・EA）ランダム共重合体を含む反応混合物に、ブロック共重合体を作製するための共重合性モノマー成分としてメチルメタアクリレート（MMA）を追加して、さらにリビングラジカル重合を行うことにより、ポリ（BA・EA）ランダム共重合体に、ブロック的に、重量平均分子量が約58,000のポリメチルメタクリレート（PMMA）を結合させた、PMMA・（ポリ（BA・EA）ランダム共重合体）ブロック共重合体〔ポリ（MMA/BA・EA）ブロック共重合体〕を得た。該ポリ（MMA/BA・EA）ブロック共重合体（「ブロック共重合体A-1」と称する場合がある）において、ブロック共重合体全体の重量平均分子量は約83,000であり、PMMAの比率は70重量%（重量平均分子量比）である。このブロック共重合体A-1をフィルターやイオン交換樹脂を用いて精製した後、紫外線（UV）により架橋させることができ且つ約250nm及び約360nmに最大吸収波長（ $\lambda_{max}$ ）を有するトリアジン系架橋剤を、ブロック共重合体（ブロック共重合体A-1）100重量部に対して1重量部添加し、さらに酢酸エチルを加えて、濃度が約30重量%の溶液にして、キャスト法により、膜厚：約0.5mmのフィルム状サンプル（「照射サンプルA-1」と称する場合がある）を作製した。この照射サンプルA-1の屈折率は、アッペ屈折率形により測定したところ、1.483であった。

【0253】なお、前記ブロック共重合体A-1について、示差走査熱量測定（DSC）装置（商品名「DSC 6200」セイコー電子工業社製）を使用して、130℃から急冷したサンプル（ブロック共重合体）を用いて、試料重量：7～20mg、昇温速度：7℃/分、窒素流速：60～70mm/分の条件でガラス転移温度の測定を行ったところ、該ブロック共重合体A-1のガラス転移温度は、約-30℃及び104℃であり、2つのガラス転移温度を有していた。

【0254】前記照射サンプルA-1の上面から深さが

約80 $\mu$ mである内部の位置を焦点にして、チタン・サファイア・フェムト秒パルスレーザー装置及び対物レンズ(倍率:10倍)を使用して、超短パルスレーザー(照射波長:800nm、パルス幅:150 $\times$ 10<sup>-15</sup>秒、繰り返し:200kHz)を、照射エネルギー(平均出力):30mW、照射スポット径:約4 $\mu$ mの条件で、照射サンプルA-1を照射方向に垂直な方向に移動速度:約500 $\mu$ m/秒で、照射開始位置からの距離が20mmのところまで移動させて、第1の照射を行った。その後、照射方向に対して垂直な平面上で第1の照射の移動方向に対して垂直な方向に、照射サンプルA-1を8 $\mu$ m移動させて、第1の照射と同じ深さで、第1の照射と同様にして、照射開始位置からの距離が20mmのところまで移動させて、第2の照射を行った。すなわち、第1の照射による焦点を移動させた焦点位置軌跡と、第2の照射による焦点を移動させた焦点位置軌跡とは、照射方向に対して垂直な同一の平面上にあり、その間隔(ピッチ距離)は8 $\mu$ mとなっている。以下同様にして、第3の照射～第15の照射まで行って、合計15本のライン照射を行った。従って、照射を行った照射サンプルA-1では、ピッチ間隔が8 $\mu$ mであり、ライン本数が15本である。

【0255】照射した照射サンプルA-1の断面を光学顕微鏡で観察し、得られた格子状サンプルのピッチ間隔( $\Lambda$ )、格子の対向する面の奥行き長さ(L)を測定した。また照射サンプルに波長が632.8nmのHe-Ne(ヘリウム-ネオン)レーザーを図18に示したように照射して、透過回折のスポットの出現を観察した。これらの測定結果を表1に示した。

【0256】(実施例2)実施例1と同じ照射サンプルA-1を用いて、ピッチ間隔(ピッチ距離)を8 $\mu$ mに代えて15 $\mu$ mとし、ライン本数を15本に代えて40本としたこと以外は、実施例1と同じ照射条件で照射した。また、実施例1と同様に光学顕微鏡による断面観察並びにHe-Neレーザー照射による透過回折のスポットを観察したところ、表1に示す結果が得られた。

【0257】(実施例3)実施例1と同様のリビングラジカル重合法により、モノマー成分として、BA及びEA(等モル比)を用いて調製されたポリ(BA・EA)ランダム共重合体に、さらに、MMAを重合させて、重量平均分子量が約100,000のポリ(MMA/BA・EA)ブロック共重合体(PMMAの比率:50重量%(重量平均分子量比)、BAとEAとは等モル比)、「ブロック共重合体B-1」と称する場合がある)を得た。このブロック共重合体B-1をフィルターやイオン交換樹脂を用いて精製した後、紫外線(UV)により架橋させることができ且つ約250nm及び約360nmに最大吸収波長( $\lambda_{max}$ )を有するトリアジン系架橋剤を、ブロック共重合体(ブロック共重合体B-1)100重量部に対して1重量部添加し、さらに酢酸エチ

ルを加えて、濃度が約30重量%の溶液にして、キャスト法により、膜厚:約0.5mmのフィルム状サンプル(「照射サンプルB-1」と称する場合がある)を作製した。この照射サンプルB-1の屈折率は、アッベ屈折率形により測定したところ、1.485であった。

【0258】なお、前記ブロック共重合体B-1について、実施例1と同様の測定条件でDSC測定を行ったところ、ガラス転移温度は、約-30 $^{\circ}$ C及び74 $^{\circ}$ Cであり、2つのガラス転移温度を有していた。

【0259】前記照射サンプルB-1を用いて、照射エネルギー(平均出力):20mW、照射スポット径:約3 $\mu$ m、対物レンズの倍率:20倍、ピッチ間隔(ピッチ距離):7 $\mu$ m、ライン本数:20本にしたこと以外は、実施例1と同じ照射条件で照射した。また、実施例1と同様に光学顕微鏡による断面観察並びにHe-Neレーザー照射による透過回折のスポットを観察したところ、表1に示す結果が得られた。

【0260】(実施例4)実施例3と同じ照射サンプルB-1を用いて、ピッチ間隔(ピッチ距離)を7 $\mu$ mに代えて15 $\mu$ mとし、ライン本数を20本に代えて40本としたこと以外は、実施例3と同じ照射条件で照射した。また、実施例1と同様に光学顕微鏡による断面観察並びにHe-Neレーザー照射による透過回折のスポットを観察したところ、表1に示す結果が得られた。

【0261】(実施例5)実施例3と同様にして得られたブロック共重合体B-1を、フィルターやイオン交換樹脂を用いて精製した後、紫外線(UV)により架橋させることができ且つ約250nm及び約360nmに最大吸収波長( $\lambda_{max}$ )を有するトリアジン系架橋剤を、ブロック共重合体(ブロック共重合体B-1)100重量部に対して2重量部添加し、さらに酢酸エチルを加えて、濃度が約30重量%の溶液にして、キャスト法により、膜厚:約0.5mmのフィルム状サンプル(「照射サンプルC-1」と称する場合がある)を作製した。この照射サンプルC-1の屈折率は、アッベ屈折率形により測定したところ、1.486であった。この照射サンプルC-1を用いて、ピッチ間隔(ピッチ距離)を7 $\mu$ mに代えて15 $\mu$ mとし、ライン本数を20本に代えて40本としたこと以外は、実施例3と同じ照射条件で照射した。また、実施例1と同様に光学顕微鏡による断面観察並びにHe-Neレーザー照射による透過回折のスポットを観察したところ、表1に示す結果が得られた。

【0262】(比較例1)市販されているPMMA製フィルム(膜厚:約1mm、PMMAの重量平均分子量:約200,000)を用いて、実施例3と同一の照射条件で照射を行い、照射サンプルD-1を作製した。この照射サンプルD-1の屈折率は、アッベ屈折率形により測定したところ、1.493であった。また、実施例1



と同様に光学顕微鏡による断面観察並びにHe-Neレーザー照射による透過回折のスポットを観察したところ、表1に示す結果が得られた。

【0263】なお、上記実施例1～5および比較例1に係る各照射サンプルについて、光学顕微鏡観察を行ったところ、実施例1～5に係る照射サンプルでは、内部に格子状の誘起構造を有する部位の形成が観察された。比較例1は、内部にトンネル状の空洞が出来、しかも、所々にクラックも見られた。また、観察された誘起構造部位のピッチ間隔(Λ)、格子の対向する面の奥行き長さ(L)を測定したところ、表1に示す結果が得られた。\*

\*【0264】また、実施例1～実施例5および比較例1に係る照射サンプルに関して、上記光学顕微鏡によって測定された誘起構造部位の寸法などを用いて、下記式

$$(1) \text{ で表される無次元数 } Q = 2\pi\lambda L / n\Lambda^2$$

(1)の式から求めたQ値、およびHe-Neレーザー照射による透過回折で観察されたスポットの最大次数を表1に示している。ここで、スポットの最大次数が1に近く小さいほどBragg回折が主に起こっていることを示している。

【0265】

【表1】

表 1

	ピッチ間隔 (μm)	奥行き長さ (μm)	Qの値	スポット 最大次数
実施例1	8	219	9.16	1
実施例2	15	219	2.61	2
実施例3	7	63	3.41	2
実施例4	15	63	0.74	5
実施例5	15	29	0.34	5
比較例1	(直径8 μmの空洞)	—	該当なし	回折は起こらない

【0266】表1より、実施例1～実施例3では、照射に使用された照射サンプル(フィルム状のサンプル)並びに照射条件が好適で、Q値が1よりも大きい値が得られ透過回折も好適なBragg回折が主に起こっていることが明らかである。また、実施例4～実施例5では、Q値が1よりも小さいので、Raman-Neeth回折が主に起こっていることが明らかである。一方、比較例1では、照射に使用された照射サンプル(フィルム状のサンプル)が好適でないために、Raman-Neeth回折が主に起こっていることが明らかである。

【0267】(プラスチック透過型回折格子Bの実施例について)

(実施例6) 重合用容器に、モノマー成分としてアクリル酸ブチル(BA)と、アクリル酸エチル(EA)とを等モル比の割合で入れ、重合開始剤として2-プロモイソ酪酸エチル(前記モノマー成分全量に対して0.0012モル%)、重合触媒として臭化銅(前記モノマー成分全量に対して0.0012モル%)、助触媒として2,2'-ビピリジン系誘導体(前記モノマー成分全量に対して0.0036モル%)を用いた公知のリビングラジカル重合により、まず、重量平均分子量約25,000のアクリル酸ブチル・アクリル酸エチルランダム共重合体[ポリ(BA・EA)ランダム共重合体]を作製した。引き続いて、前記ポリ(BA・EA)ランダム共重合体を含む反応混合物に、ブロック共重合体を作製するための共重合性モノマー成分としてメチルメタクリレート(MMA)を追加して、さらにリビングラジカル重合を行うことにより、ポリ(BA・EA)ランダム

共重合体に、ブロック的に、重量平均分子量が約58,000のポリメチルメタクリレート(PMMA)を結合させた、PMMA・(ポリ(BA・EA)ランダム共重合体)ブロック共重合体[ポリ(MMA/BA・EA)ブロック共重合体]を得た。該ポリ(MMA/BA・EA)ブロック共重合体(「ブロック共重合体A-2」と称する場合がある)において、ブロック共重合体全体の重量平均分子量は約83,000であり、PMMAの比率は70重量%(重量平均分子量比)である。このブロック共重合体A-2をフィルターやイオン交換樹脂を用いて精製した後、紫外線(UV)により架橋させることができ且つ約250nm及び約360nmに最大吸収波長(λmax)を有するトリアジン系架橋剤を、ブロック共重合体(ブロック共重合体A)100重量部に対して1重量部添加し、さらに酢酸エチルを加えて、濃度が約30重量%の溶液にして、キャスト法により、膜厚:約0.5mmのフィルム状サンプル(「照射サンプルA-2」と称する場合がある)を作製した。この照射サンプルA-2の屈折率は、アッペ屈折率形により測定したところ、1.483であった。

【0268】なお、前記ブロック共重合体A-2について、示差走査熱量測定(DSC)装置(商品名「DSC6200」セイコー電子工業社製)を使用して、130℃から急冷したサンプル(ブロック共重合体)を用いて、試料重量:7～20mg、昇温速度:7℃/分、窒素流速:60～70mm/分の条件でガラス転移温度の測定を行ったところ、該ブロック共重合体A-2のガラス転移温度は、約-30℃及び104℃であり、2つの

ガラス転移温度を有していた。

【0269】前記照射サンプルA-2の上面から深さが約80 $\mu$ mである内部の位置を焦点にして、チタン・サファイア・フェムト秒パルスレーザー装置及び対物レンズ（倍率：10倍）を使用して、超短パルスレーザー（照射波長：800nm、パルス幅：150 $\times$ 10<sup>-15</sup>秒、繰り返し：200kHz）を、照射エネルギー（平均出力）：30mW、照射スポット径：約4 $\mu$ mの条件で、照射サンプルA-2を照射方向に垂直な方向に移動速度：約500 $\mu$ m/秒で、照射開始位置からの距離が50mmのところまで直線移動させて、第1の照射を直線状に照射して行った。その後、第1の照射の照射開始位置から8 $\mu$ mだけ隔てた位置を第2の照射開始位置とし、第1の照射と同じ深さで、第1の照射と同様にし、第2の照射開始位置からの距離が50mmであって、第1の照射終了位置から15 $\mu$ mだけ隔てた位置のところまで直線移動させて、第2の照射を直線状に照射して行った。すなわち、第1の照射による焦点を移動させた焦点位置軌跡と、第2の照射による焦点を移動させた焦点位置軌跡とは、一方の側から他方の側にかけて間隔（ピッチ距離）が変化しており、最小のピッチ間隔（ピッチ距離）は8 $\mu$ mであり、最大のピッチ間隔（ピッチ距離）は15 $\mu$ mとなっている。以下同様にし、第3の照射～第15の照射まで行って、合計15本のライン照射を行った。従って、照射を行った照射サンプルA-2では、ピッチ間隔（ピッチ距離）が一方向に8～15 $\mu$ mの範囲で変化しており、ライン本数が15本である。なお、屈折率変化部の厚みは10 $\mu$ mであった。

【0270】照射した照射サンプルA-2の断面を光学顕微鏡で観察し、得られた格子状サンプルのピッチ間隔（ $\Lambda$ ）、格子の対向する面の奥行き長さ（L）を測定した。また照射サンプルに波長が632.8nmのHe-Ne（ヘリウム-ネオン）レーザーを図18に示したように照射して、透過回折のスポットの出現を観察した。これらの測定結果を表2及び3に示した。

【0271】（実施例7）実施例6と同様のリビングラジカル重合法により、モノマー成分として、BA及びEA（等モル比）を用いて調製されたポリ（BA・EA）ランダム共重合体に、さらに、MMAを重合させて、重量平均分子量が約100,000のポリ（MMA/BA・EA）ブロック共重合体（PMMAの比率：50重量%（重量平均分子量比）、BAとEAとは等モル比）

（「ブロック共重合体B-2」と称する場合がある）を得た。このブロック共重合体B-2をフィルターやイオン交換樹脂を用いて精製した後、紫外線（UV）により架橋させることができ且つ約250nm及び約360nmに最大吸収波長（ $\lambda_{max}$ ）を有するトリアジン系架橋剤を、ブロック共重合体（ブロック共重合体B-2）

100重量部に対して1重量部添加し、さらに酢酸エチ\*

一次の回折効率 $\eta_1$  = （一次の回折光強度） / （入射光強度） （2）

\*ルを加えて、濃度が約30重量%の溶液にして、キャスト法により、膜厚：約0.5mmのフィルム状サンプル（「照射サンプルB-2」と称する場合がある）を作製した。この照射サンプルB-2の屈折率は、アッベ屈折率形により測定したところ、1.485であった。

【0272】なお、前記ブロック共重合体B-2について、実施例6と同様の測定条件でDSC測定を行ったところ、ガラス転移温度は、約-30℃及び74℃であり、2つのガラス転移温度を有していた。

【0273】前記照射サンプルB-2を、60mm $\times$ 60mmのサイズ（厚み：約0.5mm）に切り出し、一辺を固定し、100℃で5分間予熱した後、固定した辺（固定辺）の対辺（延伸辺）が元の長さの1.43倍となるように（従って、上面の形状が台形状となるように）延伸を行った。固定辺側から延伸辺側に向かって、照射エネルギー（平均出力）：20mW、照射スポット径：約3 $\mu$ m、対物レンズの倍率：20倍、ピッチ間隔（ピッチ距離）：10 $\mu$ m（すべて平行である）、ライン本数：20本にしたこと以外は、実施例6と同じ照射条件で照射した。そして、再度、100℃で10分間熱をかけて、自由に収縮させた。なお、屈折率変化部の厚みは4 $\mu$ mであった。また、実施例6と同様に光学顕微鏡による断面観察並びにHe-Neレーザー照射による透過回折のスポットを観察したところ、表2及び3に示す結果が得られた。

【0274】なお、上記実施例6及び7に係る各照射サンプルについて、光学顕微鏡観察を行ったところ、該実施例6及び7に係る照射サンプルでは、内部に格子状の誘起構造を有する部位の形成が観察された。また、観察された誘起構造部位のピッチ間隔（ $\Lambda$ ）、格子の対向する面の奥行き長さ（L）を測定したところ、表2に示す結果が得られた。該ピッチ間隔（ $\Lambda$ ）や奥行き長さ（L）において、実施例6では、照射開始位置側の端部と、照射終了位置側の端部について測定した。また、実施例7では、固定辺側の端部と、延伸辺側の端部について測定した。これらの照射開始位置側、照射終了位置側、固定辺側、延伸辺側の端部である観察部としては、それぞれの部位から5mm以内のライン部（格子部）である。

【0275】また、実施例6および7に係る照射サンプルに関して、上記光学顕微鏡によって測定された誘起構造部位の寸法などを用いて、下記式（1）で表される無次元数Q

$$Q = 2\pi\lambda L / n\Lambda^2 \quad (1)$$

の式から求めたQ値、およびHe-Neレーザー照射による透過回折で観察されたスポットの最大次数、さらに下記式（2）で表される一次の回折効率 $\eta_1$

の値を表3に示している。ここで、スポットの最大次数が1に近く小さいほどBragg回折が主に起こっていることを示している。なお、これらについても、前記表2と同様に、実施例6では、照射開始位置側の端部と、照射終了位置側の端部について測定し、また、実施例7\*

\*では、固定辺側の端部と、延伸辺側の端部について測定した。

【0276】

【表2】

表 2

		ピッチ間隔 ( $\mu\text{m}$ )	奥行き長さ (L) ( $\mu\text{m}$ )
実施例 6	照射開始位置側	8	219
	照射終了位置側	15	219
実施例 7	固定辺側	7	63
	延伸辺側	10	63

【0277】

※ ※ 【表3】

表 3

		Q値	スポットの 最大次数	$\eta$
実施例 6	照射開始位置側	9.1	1	0.060
	照射終了位置側	2.1	2	0.232
実施例 7	固定辺側	3.4	2	0.052
	延伸辺側	2.1	3	0.070

【0278】表2より、実施例6及び7に係る照射サンプルでは、その内部に格子状の誘起構造を有する部位の形成が観察され、しかも、一方の側から他方の側にかけて、格子状の誘起構造を有する部位間の間隔が変化していることが観察された。

【0279】さらに、表3より、実施例6及び7では、照射に使用された照射サンプル（フィルム状のサンプル）並びに照射条件が好適で、Q値が1よりも大きい値が得られ透過回折も好適なBragg回折が主に起こっていることが明らかである。

【0280】（プラスチック透過型回折格子Cの実施例について）

（実施例8）重合用容器に、モノマー成分としてアクリル酸ブチル（BA）と、アクリル酸エチル（EA）とを等モル比の割合で入れ、重合開始剤として2-プロモイソ酪酸エチル（前記モノマー成分全量に対して0.0012モル%）、重合触媒として臭化銅（前記モノマー成分全量に対して0.0012モル%）、助触媒として2,2'-ビピリジン系誘導体（前記モノマー成分全量に対して0.0036モル%）を用いた公知のリビングラジカル重合により、まず、重量平均分子量約25,000のアクリル酸ブチル・アクリル酸エチルランダム共重合体〔ポリ（BA・EA）ランダム共重合体〕を作製した。引き続いて、前記ポリ（BA・EA）ランダム共重合体を含む反応混合物に、ブロック共重合体を作製するための共重合性モノマー成分としてメチルメタクリレート（MMA）を追加して、さらにリビングラジカル重合を行うことにより、ポリ（BA・EA）ランダム

共重合体に、ブロック的に、重量平均分子量が約58,000のポリメチルメタクリレート（PMMA）を結合させた、PMMA・（ポリ（BA・EA）ランダム共重合体）ブロック共重合体〔ポリ（MMA/BA・EA）ブロック共重合体〕を得た。該ポリ（MMA/BA・EA）ブロック共重合体（「ブロック共重合体A-3」と称する場合がある）において、ブロック共重合体全体の重量平均分子量は約83,000であり、PMMAの比率は70重量%（重量平均分子量比）である。このブロック共重合体A-3をフィルターやイオン交換樹脂を用いて精製した後、紫外線（UV）により架橋させることができ且つ約250nm及び約360nmに最大吸収波長（ $\lambda_{\text{max}}$ ）を有するトリアジン系架橋剤を、ブロック共重合体（ブロック共重合体A-3）100重量部に対して1重量部添加し、さらに酢酸エチルを加えて、濃度が約30重量%の溶液にして、キャスト法により、膜厚：約0.5mmのフィルム状サンプル（「照射サンプルA-3」と称する場合がある）を作製した。この照射サンプルA-3の屈折率は、アッペ屈折率形により測定したところ、1.483であった。

【0281】なお、前記ブロック共重合体A-3について、示差走査熱量測定（DSC）装置（商品名「DSC 6200」セイコー電子工業社製）を使用して、130℃から急冷したサンプル（ブロック共重合体）を用いて、試料重量：7～20mg、昇温速度：7℃/分、窒素流速：60～70mm/分の条件でガラス転移温度の測定を行ったところ、該ブロック共重合体A-3のガラス転移温度は、約-30℃及び104℃であり、2つの

ガラス転移温度を有していた。

【0282】前記照射サンプルA-3の上面から深さが約80 $\mu\text{m}$ である内部の位置を焦点にして、チタン・サファイア・フェムト秒パルスレーザー装置及び対物レンズ（倍率：10倍）を使用して、超短パルスレーザー（照射波長：800nm、パルス幅：150 $\times 10^{-15}$ 秒、繰り返し：200kHz）を、照射エネルギー（平均出力）：30mW、照射スポット径：約4 $\mu\text{m}$ の条件で、照射サンプルA-3を照射方向に垂直な方向に移動速度：約500 $\mu\text{m}/\text{秒}$ で、照射開始位置からの距離が50mmのところまで直線移動させて、第1の照射を直線状に照射して行った。その後、照射方向に対して垂直な平面上で第1の照射の移動方向に対して垂直な方向に、照射サンプルA-3を15 $\mu\text{m}$ 移動させて、第1の照射と同じ深さで、第1の照射と同様に、照射開始位置からの距離が50mmのところまで移動させて、第2の照射を直線状に照射して行った。すなわち、第1の照射による焦点を移動させた焦点位置軌跡と、第2の照射による焦点を移動させた焦点位置軌跡とは、照射方向に対して垂直な同一の平面上にあり、その間隔（ピッチ距離）は15 $\mu\text{m}$ となっている。以下同様（照射エネルギー、照射スポット径、対物レンズ倍率、サンプル移動速度、照射位置決めなど）にして、第3の照射～第50の照射まで行って、小計50本のライン照射を行った。

【0283】次に、照射サンプルA-3を90°回転させて、先の照射（第1～50の照射）による照射ラインに対して直交するように、前記と同様（照射エネルギー、照射スポット径、対物レンズ倍率、サンプル移動速度、照射位置決めなど）にして、第51の照射～第65の照射を行って、小計15本のライン照射を行った。

【0284】すなわち、第1～第50の照射による照射ライン（a）は互いに平行であり、その隣接する照射ライン間の間隔も一定である。また、第51～第65の照射による照射ライン（b）は互いに平行であり、その隣接する照射ライン間の間隔も一定である。しかし、第1～第50の照射による照射ライン（a）と、第51～第\*

$$\text{一次の回折効率 } \eta_1 = (\text{一次の回折光強度}) / (\text{入射光強度}) \quad (2)$$

の値を求めたところ、それぞれ、次数：2次、 $\eta_1 = 0.078$ であった。

【0289】以上より、実施例8では、照射に使用された照射サンプル（フィルム状のサンプル）並びに照射条件が好適で、Q値が1よりも大きい値が得られ透過回折も好適なBragg回折が2次元的に起こっていることが明らかである。

【0290】（屈折率変化部のピッチ間隔の調整に関する実施例について）

（実施例9）重合用容器に、モノマー成分としてアクリル酸ブチル（BA）と、アクリル酸エチル（EA）とを等モル比の割合で入れ、重合開始剤として2-プロピオン酸エチル（前記モノマー成分全量に対して0.00

\*65の照射による照射ライン（b）とは直交して交わっている。

【0285】従って、照射を行った照射サンプルA-3において、第1～第50の照射による照射ライン（a）では、ピッチ間隔 $\Lambda$ +厚みdが15 $\mu\text{m}$ （ピッチ距離）であり、ライン本数が50本であり、一方該照射ライン（a）とは直交している第51～第65の照射による照射ライン（b）では、ピッチ間隔 $\Lambda$ +厚みdが15 $\mu\text{m}$ （ピッチ距離）であり、ライン本数が15本である。

【0286】照射した照射サンプルA-3の断面を光学顕微鏡で観察したところ、図16に示されるように、内部に格子状の誘起構造を有する部位の形成が観察された。図16は、照射した照射サンプルA-3についてのキーエンス社製デジタルマイクロスコープ（VH-250）による平面写真を示す図である。また、観察された誘起構造部位のピッチ間隔（ $\Lambda$ ）、格子の対向する面の奥行き長さ（L）を測定したところ、得られた格子状サンプルのピッチ間隔（ $\Lambda$ ）は10 $\mu\text{m}$ であり、格子の対向する面の奥行き長さ（L）は82 $\mu\text{m}$ であった。

【0287】さらにまた、照射サンプルに波長が632.8nmのHe-Ne（ヘリウム-ネオン）レーザーを図18に示したように照射して、透過回折のスポットの出現を観察したところ、図17に示されるような写真が得られた。図17は照射した照射サンプルA-3への632.8nmのHe-Neレーザーの照射による透過回折で観察されたスポットの出現の写真を示す図である。

【0288】さらにまた、照射サンプルに関して、上記光学顕微鏡によって測定された誘起構造部位の寸法などを用いて、下記式（1）で表される無次元数Q  

$$Q = 2\pi\lambda L / n\Lambda^2 \quad (1)$$
 の式から求めたQ値を求めたところ、2.6であった。また、He-Neレーザー照射による透過回折で観察されたスポットの最大次数を測定するとともに、下記式（2）で表される一次の回折効率 $\eta_1$

12モル%）、重合触媒として臭化銅（前記モノマー成分全量に対して0.0012モル%）、助触媒として2,2'-ビピリジン系誘導体（前記モノマー成分全量に対して0.0036モル%）を用いた公知のリビングラジカル重合法により、先ず、重量平均分子量約25,000のアクリル酸ブチル・アクリル酸エチルランダム共重合体〔ポリ（BA・EA）ランダム共重合体〕を作製した。引き続いて、前記ポリ（BA・EA）ランダム共重合体を含む反応混合物に、ブロック共重合体を作製するための共重合性モノマー成分としてメチルメタアクリレート（MMA）を追加して、さらにリビングラジカル重合を行うことにより、ポリ（BA・EA）ランダム共重合体に、ブロック的に、重量平均分子量が約58,

000のポリメチルメタクリレート(PMMA)を結合させた、PMMA・(ポリ(BA・EA)ランダム共重合体)ブロック共重合体[ポリ(MMA/BA・EA)ブロック共重合体]を得た。該ポリ(MMA/BA・EA)ブロック共重合体(「ブロック共重合体A-4」と称する場合がある)において、ブロック共重合体全体の重量平均分子量は約83,000であり、PMMAの比率は70重量%(重量平均分子量比)である。このブロック共重合体A-4をフィルターやイオン交換樹脂を用いて精製した後、紫外線(UV)により架橋させることができ且つ約250nm及び約360nmに最大吸収波長( $\lambda_{max}$ )を有するトリアジン系架橋剤を、ブロック共重合体(ブロック共重合体A-4)100重量部に対して1重量部添加し、さらに酢酸エチルを加えて、濃度が約30重量%の溶液にして、キャスト法により、膜厚:約0.5mmのフィルム状サンプル(「照射サンプルA-4」と称する場合がある)を作製した。この照射サンプルA-4の屈折率は、アッペ屈折率形により測定したところ、1.483であった。

【0291】なお、前記ブロック共重合体A-4について、示差走査熱量測定(DSC)装置(商品名「DSC 6200」セイコー電子工業社製)を使用して、130℃から急冷したサンプル(ブロック共重合体)を用いて、試料重量:7~20mg、昇温速度:7℃/分、窒素流速:60~70mm/分の条件でガラス転移温度の測定を行ったところ、該ブロック共重合体A-4のガラス転移温度は、約-30℃及び104℃であり、2つのガラス転移温度を有していた。

【0292】前記照射サンプルA-4を、100℃で5分間予熱した後に1方向に1.5倍の延伸倍率で延伸し、延伸された照射サンプルA-4(「延伸サンプルA-4」と称する場合がある)を得た。なお、以下、延伸方向をMD方向と称する場合があり、また、MD方向に直交する直交方向をTD方向と称する場合がある。

【0293】前記延伸サンプルA-4の上面から深さが約80 $\mu$ mである内部の位置を焦点にして、チタン・サファイア・フェムト秒パルスレーザー装置及び対物レンズ(倍率:10倍)を使用して、超短パルスレーザー(照射波長:800nm、パルス幅:150 $\times 10^{-15}$ 秒、繰り返し:200kHz)を、照射エネルギー(平均出力):30mW、照射スポット径:約4 $\mu$ mの条件で、延伸サンプルA-4を照射方向に垂直な方向且つMD方向に移動速度:約500 $\mu$ m/秒で、照射開始位置からの距離が50mmのところまで直線移動させて、第1の照射を直線状に照射して行った。その後、第1の照射の照射開始位置から8 $\mu$ mだけ隔てた位置を第2の照射開始位置とし、第1の照射と同じ深さで、第1の照射と同様にして、第2の照射開始位置からの距離が50mmのところまで直線移動させて、第2の照射を直線状に照射して行った。すなわち、第1の照射による焦点を移

動させた焦点位置軌跡と、第2の照射による焦点を移動させた焦点位置軌跡とは、照射方向に対して垂直な同一の平面上で且つMD方向となっており、その間隔は8 $\mu$ mとなっている。以下同様にして、第3の照射~第15の照射まで行って、合計15本のライン照射を行った。従って、該焦点をMD方向に移動させて照射を行った延伸サンプルA-4では、ピッチ間隔 $\Lambda$ +厚みdが8 $\mu$ m(ピッチ距離)であり、ライン本数が15本である。

【0294】その後、前記焦点をMD方向に移動させて照射を行った延伸サンプルA-4を100℃で10分間保持して、熱収縮(圧力をかけずに熱のみによる収縮)により、自由に収縮させた。以下、焦点をMD方向に移動させて照射を行った延伸サンプルA-4を収縮させたものを、MD方向照射収縮サンプルA-4と称する場合がある。

【0295】前記MD方向照射収縮サンプルA-4の断面を光学顕微鏡で観察し、得られた格子状サンプルのピッチ間隔( $\Lambda$ )、格子の対向する面の奥行き長さ(L)を測定した。また、MD方向照射収縮サンプルA-4に波長が632.8nmのHe-Ne(ヘリウム-ネオン)レーザーを図18に示したように照射して、透過回折のスポットの出現を観察した。これらの測定結果を表4に示した。

【0296】(実施例10)超短パルスレーザーの照射方向を、MD方向に代えてTD方向としたこと以外は実施例9と同様にして、焦点をTD方向に移動させて照射を行った延伸サンプルA-4を作製した後、100℃で10分間保持して、熱収縮させた。以下、実施例2に係る焦点をTD方向に移動させて照射を行った延伸サンプルA-4を収縮させたものを、TD方向照射収縮サンプルA-4と称する場合がある。

【0297】前記TD方向照射収縮サンプルA-4について、実施例1と同様にして、得られた格子状サンプルのピッチ間隔( $\Lambda$ )、格子の対向する面の奥行き長さ(L)を測定するとともに、透過回折のスポットの出現を観察した。これらの測定結果を表1に示した。

【0298】(実施例11)実施例9と同様のリビングラジカル重合法により、モノマー成分として、BA及びEA(等モル比)を用いて調製されたポリ(BA・EA)ランダム共重合体に、さらに、MMAを重合させて、重量平均分子量が約100,000のポリ(MMA/BA・EA)ブロック共重合体(PMMAの比率:50重量%(重量平均分子量比)、BAとEAとは等モル比)(「ブロック共重合体B-4」と称する場合がある)を得た。このブロック共重合体B-4をフィルターやイオン交換樹脂を用いて精製した後、紫外線(UV)により架橋させることができ且つ約250nm及び約360nmに最大吸収波長( $\lambda_{max}$ )を有するトリアジン系架橋剤を、ブロック共重合体(ブロック共重合体B-4)100重量部に対して1重量部添加し、さらに酢

酸エチルを加えて、濃度が約30重量%の溶液にして、キャスト法により、膜厚：約0.5mmのフィルム状サンプル（「照射サンプルB-4」と称する場合がある）を作製した。この照射サンプルB-4の屈折率は、アッペ屈折率形により測定したところ、1.485であった。

【0299】なお、前記ブロック共重合体B-4について、実施例9と同様の測定条件でDSC測定を行ったところ、ガラス転移温度は、約-30℃及び74℃であり、2つのガラス転移温度を有していた。

【0300】前記照射サンプルB-4を、実施例9と同様に、1方向に1.5倍の延伸倍率で延伸し、延伸された照射サンプルB-4（「延伸サンプルB-4」と称する場合がある）を得た。

【0301】前記延伸サンプルB-4に対して、照射エネルギー（平均出力）：20mW、照射スポット径：約3μm、対物レンズの倍率：20倍、ピッチ間隔（ピッチ距離）：10μm、ライン本数：20本にしたこと以外は、実施例9と同じ照射条件（例えば、焦点の移動方向がMD方向である）且つ同様の方法により、照射した。従って、該実施例11に係る焦点をMD方向に移動させて照射を行った延伸サンプルB-4では、ピッチ間隔Λ+厚みdが10μm（ピッチ距離）であり、ライン本数が20本である。

【0302】その後、焦点をMD方向に移動させて照射を行った延伸サンプルB-4を、実施例9と同様に、熱収縮させた。以下、実施例11に係る焦点をMD方向に移動させて照射を行った延伸サンプルB-4を収縮させたものを、MD方向照射収縮サンプルB-4と称する場合がある。

【0303】MD方向照射収縮サンプルB-4について、実施例9と同様に、得られた格子状サンプルのピッチ間隔（Λ）、格子の対向する面の奥行き長さ（L）を測定するとともに、透過回折のスポットの出現を観察した。これらの測定結果を表4に示した。

【0304】（実施例12）超短パルスレーザーの照射方向を、MD方向に代えてTD方向としたこと以外は実施例11と同様に、焦点をTD方向に移動させて照射を行った延伸サンプルB-4を作製した後、100℃\*

$$\text{一次の回折効率 } \eta_1 = (\text{一次の回折光強度}) / (\text{入射光強度}) \quad (2)$$

の値を表4に示している。

【0310】

\*で10分間保持して、熱収縮させた。以下、実施例12に係る焦点をTD方向に移動させて照射を行った延伸サンプルB-4を収縮させたものを、TD方向照射収縮サンプルB-4と称する場合がある。

【0305】前記TD方向照射収縮サンプルB-4について、実施例9と同様に、得られた格子状サンプルのピッチ間隔（Λ）、格子の対向する面の奥行き長さ（L）を測定するとともに、透過回折のスポットの出現を観察した。これらの測定結果を表4に示した。

10 【0306】（比較例2）延伸および収縮（熱収縮）を行わなかったこと以外は、実施例9と同様に、照射サンプルA-4に対して照射を行った。さらに、実施例9と同様に、得られた格子状サンプルのピッチ間隔（Λ）、格子の対向する面の奥行き長さ（L）を測定するとともに、透過回折のスポットの出現を観察した。これらの測定結果を表4に示した。なお、延伸を行っていないので、レーザーの照射方向（焦点の移動方向）は任意の方向である。

20 【0307】（比較例3）延伸および収縮（熱収縮）を行わなかったこと以外は、実施例11と同様に、照射サンプルB-4に対して照射を行った。さらに、実施例9と同様に、得られた格子状サンプルのピッチ間隔（Λ）、格子の対向する面の奥行き長さ（L）を測定するとともに、透過回折のスポットの出現を観察した。これらの測定結果を表4に示した。なお、延伸を行っていないので、レーザーの照射方向（焦点の移動方向）は任意の方向である。

30 【0308】なお、上記実施例9～12及び比較例2～3に係る各照射サンプルについて、光学顕微鏡観察を行ったところ、該実施例9～12及び比較例2～3に係る照射サンプルでは、内部に格子状の誘起構造を有する部位の形成が観察された。

【0309】また、実施例9～12及び比較例2～3に係る照射サンプルに関して、上記光学顕微鏡によって測定された誘起構造部位の寸法などを用いて、下記式

(1) で表される無次元数Q

$$Q = 2\pi\lambda L / n\Lambda^2 \quad (1)$$

の式から求めたQ値、および下記式(2)で表される一次の回折効率 $\eta_1$

【表4】



表 4

	ピッチ間隔 ( $\mu\text{m}$ )	奥行き長さ ( $\mu\text{m}$ )	Qの値	$\eta_1$ の値
実施例 9	9	295	9.8	0.080
実施例 10	6	295	2.2	0.365
実施例 11	9	75	2.5	0.197
実施例 12	6	75	5.6	0.113
比較例 2	8	219	9.1	0.060
比較例 3	7	63	3.4	0.052

【0311】表4より、実施例9及び10に係る照射サンプルでは、その内部に格子状の誘起構造を有する部位の形成が観察された。しかも、実施例9、実施例10及び比較例2におけるそれぞれのピッチ間隔 $\Lambda$ の対比や、実施例11、実施例12及び比較例3におけるそれぞれのピッチ間隔 $\Lambda$ の対比により、格子状の誘起構造を有する部位間の間隔を調整することができることが分かる。

【0312】さらに、実施例9～12では、照射に使用された照射サンプル（フィルム状のサンプル）並びに照射条件が好適で、Q値が1よりも大きい値が得られ、また比較例2～3に比べて回折効率 $\eta_1$ の大きさも大きく、透過回折も好適なBragg回折が主に起こっていることが明らかである。

【0313】（プラスチック透過型回折格子Dの実施例について）

（実施例13）重合用容器に、モノマー成分としてアクリル酸ブチル（BA）と、アクリル酸エチル（EA）とを等モル比の割合で入れ、重合開始剤として2-プロポイソ酪酸エチル（前記モノマー成分全量に対して0.0012モル%）、重合触媒として臭化銅（前記モノマー成分全量に対して0.0012モル%）、助触媒として2,2'-ビピリジン系誘導体（前記モノマー成分全量に対して0.0036モル%）を用いた公知のリビングラジカル重合法により、先ず、重量平均分子量約25,000のアクリル酸ブチル・アクリル酸エチルランダム共重合体〔ポリ（BA・EA）ランダム共重合体〕を作製した。引き続いて、前記ポリ（BA・EA）ランダム共重合体を含む反応混合物に、ブロック共重合体を作製するための共重合性モノマー成分としてメチルメタクリレート（MMA）を追加して、さらにリビングラジカル重合を行うことにより、ポリ（BA・EA）ランダム共重合体に、ブロック的に、重量平均分子量が約58,000のポリメチルメタクリレート（PMMA）を結合させた、PMMA・（ポリ（BA・EA）ランダム共重合体）ブロック共重合体〔ポリ（MMA/BA・EA）ブロック共重合体〕を得た。該ポリ（MMA/BA・EA）ブロック共重合体（「ブロック共重合体A-5」と称する場合がある）において、ブロック共重合体全体の重量平均分子量は約83,000であり、PMMAの比

率は70重量%（重量平均分子量比）である。このブロック共重合体A-5をフィルターやイオン交換樹脂を用いて精製した後、紫外線（UV）により架橋させることができ且つ約250nm及び約360nmに最大吸収波長（ $\lambda_{\text{max}}$ ）を有するトリアジン系架橋剤を、ブロック共重合体（ブロック共重合体A-5）100重量部に対して1重量部添加し、さらに酢酸エチルを加えて、濃度が約30重量%の溶液にして、キャスト法により、膜厚：約0.5mmのフィルム状サンプル（「照射サンプルA-5」と称する場合がある）を作製した。この照射サンプルA-5の屈折率は、アッペ屈折率形により測定したところ、1.483であった。

【0314】なお、前記ブロック共重合体A-5について、示差走査熱量測定（DSC）装置（商品名「DSC 6200」セイコー電子工業社製）を使用して、130℃から急冷したサンプル（ブロック共重合体）を用いて、試料重量：7～20mg、昇温速度：7℃/分、窒素流速：60～70mm/分の条件でガラス転移温度の測定を行ったところ、該ブロック共重合体A-5のガラス転移温度は、約-30℃及び104℃であり、2つのガラス転移温度を有していた。

【0315】前記照射サンプルA-5の上面から深さが約180 $\mu\text{m}$ である内部の位置を焦点にして、チタン・サファイア・フェムト秒パルスレーザー装置及び対物レンズ（倍率：10倍）を使用して、超短パルスレーザー（照射波長：800nm、パルス幅：150 $\times 10^{-15}$ 秒、繰り返し：200kHz）を、照射エネルギー（平均出力）：30mW、照射スポット径：約4 $\mu\text{m}$ の条件で、照射サンプルA-5を照射方向に垂直な方向に移動速度：約500 $\mu\text{m}$ /秒で、照射開始位置からの距離が50mmのところまで直線移動させて、第1の照射を直線状に1光束照射により照射して行った。その後、照射方向に対して垂直な平面上で第1の照射の移動方向に対して垂直な方向に、照射サンプルA-5を15 $\mu\text{m}$ 移動させて、第1の照射と同じ深さで、第1の照射と同様に、照射開始位置からの距離が50mmのところまで移動させて、第2の照射を直線状に1光束照射により照射して行った。すなわち、第1の照射による焦点を移動させた焦点位置軌跡と、第2の照射による焦点を移動さ

せた焦点位置軌跡とは、照射方向に対して垂直な同一の平面上にあり、その間隔（ピッチ距離）は  $15\ \mu\text{m}$  となっている。以下同様（照射エネルギー、照射スポット径、対物レンズ倍率、サンプル移動速度、照射位置決め、1 光束照射など）にして、第 3 の照射～第 10 の照射まで行って、小計 10 本のライン照射を行って、該第 1～第 10 のライン照射により形成された誘起構造からなる第 1 層目の誘起構造群を形成した。

【0316】次に、照射サンプル A-5 を  $90^\circ$  回転させて、照射サンプル A-5 の上面から深さが約  $140\ \mu\text{m}$  である内部の位置を焦点にして、先の照射（第 1～第 10 の照射）による照射ラインに対して直交するように、前記と同様（照射エネルギー、照射スポット径、対物レンズ倍率、サンプル移動速度、照射位置決め、1 光束照射など）にして、第 11 の照射～第 20 の照射を 1 光束照射により行って、小計 10 本のライン照射を行って、該第 11～第 20 のライン照射により形成された誘起構造からなる第 2 層目の誘起構造群を形成した。

【0317】すなわち、第 1～第 10 の照射による照射ライン（a）は互いに平行であり、その隣接する照射ライン間の間隔も一定である。また、第 11～第 20 の照射による照射ライン（b）は互いに平行であり、その隣接する照射ライン間の間隔も一定である。しかし、第 1～第 10 の照射による照射ライン（a）と、第 11～第 20 の照射による照射ライン（b）とは、照射サンプル A-5 の上面から深さが異なり [照射ライン（a）は  $180\ \mu\text{m}$ 、照射ライン（b）は  $140\ \mu\text{m}$ ]、且つ  $90^\circ$  異なる方向である。

【0318】従って、照射を行った照射サンプル A-5 において、第 1～第 10 の照射による照射ライン（a）では、ピッチ間隔  $\Lambda$  + 厚み  $d$  が  $15\ \mu\text{m}$ （ピッチ距離）であり、ライン本数が 10 本であり、一方該照射ライン（a）とは直交している方向で上面からの深さが異なる第 11～第 20 の照射による照射ライン（b）では、ピッチ間隔  $\Lambda$  + 厚み  $d$  が  $15\ \mu\text{m}$ （ピッチ距離）であり、ライン本数が 10 本である。なお、第 1 層目の誘起構造群中の各誘起構造における互いに対向している面の面方向と、第 2 層目の誘起構造群中の各誘起構造における互いに対向している面の面方向とは、 $90^\circ$  の面角を有している。

【0319】照射した照射サンプル A-5 の断面を光学顕微鏡で観察して、測定された誘起構造部位の寸法などを用いて、下記式（1）で表される無次元数  $Q$

$$Q = 2\pi\lambda L / n\Lambda^2 \quad (1)$$

の式から求めた  $Q$  値を求めたところ、3.1 であった。

【0320】なお、観察された誘起構造部位のピッチ間隔（ $\Lambda$ ）、格子における互いに対向している面の奥行き長さ（ $L$ ）を測定したところ、得られたサンプルのピッチ間隔（ $\Lambda$ ）は  $10\ \mu\text{m}$  であり、格子における互いに対向している面の奥行き長さ（ $L$ ）は  $30\ \mu\text{m}$  であった。

【0321】（実施例 14）前記照射サンプル A-5 を用いて、実施例 13 と同様にして、第 1 層目の誘起構造群と、第 2 層目の誘起構造群を形成した後、さらに照射サンプル A-5 を  $55^\circ$  回転させて、照射サンプル A-5 の上面から深さが約  $100\ \mu\text{m}$  である内部の位置を焦点にして、第 2 層目の誘起構造群に係る第 11～第 20 の照射ラインに対する角度が  $55^\circ$  となるように、前記第 1 層目及び第 2 層目の誘起構造群の形成と同様（照射エネルギー、照射スポット径、対物レンズ倍率、サンプル移動速度、照射位置決め、1 光束照射など）にして、第 21 の照射～第 30 の照射を 1 光束照射により行って、小計 10 本のライン照射を行って、該第 21～第 30 のライン照射により形成された誘起構造からなる第 3 層目の誘起構造群を形成した。

【0322】すなわち、第 21～第 30 の照射による照射ライン（c）は互いに平行であり、その隣接する照射ライン間の間隔も一定である。なお、第 11～第 20 の照射による照射ライン（b）と、第 21～第 30 の照射による照射ライン（c）とは、照射サンプル A-5 の上面から深さが異なり [照射ライン（b）は  $140\ \mu\text{m}$ 、照射ライン（c）は  $100\ \mu\text{m}$ ]、且つ  $55^\circ$  異なる方向である。なお、第 2 層目の誘起構造群中の各誘起構造における互いに対向している面の面方向と、第 3 層目の誘起構造群中の各誘起構造における互いに対向している面の面方向とは、 $55^\circ$  の面角を有している。

【0323】照射した照射サンプル A-5 の断面を、実施例 13 と同様にして、光学顕微鏡で観察して、前記式（1）で表される無次元数  $Q$  を求めたところ、3.4 であった。

【0324】以上より、実施例 13 及び 14 では、照射に使用された照射サンプル（フィルム状のサンプル）並びに照射条件が好適で、 $Q$  値が 1 よりも大きい値が得られ透過回折も好適な Bragg 回折が 2 次的に起こっていることが明らかである。

【0325】（プラスチック透過型回折格子 Da の実施例について）

（実施例 15）重合用容器に、モノマー成分としてアクリル酸ブチル（BA）と、アクリル酸エチル（EA）とを等モル比の割合で入れ、重合開始剤として 2-プロポイソ酪酸エチル（前記モノマー成分全量に対して 0.0012 モル%）、重合触媒として臭化銅（前記モノマー成分全量に対して 0.0012 モル%）、助触媒として 2,2'-ビピリジン系誘導体（前記モノマー成分全量に対して 0.0036 モル%）を用いた公知のリビングラジカル重合法により、先ず、重量平均分子量約 25,000 のアクリル酸ブチル・アクリル酸エチルランダム共重合体 [ポリ（BA・EA）ランダム共重合体] を作製した。引き続いて、前記ポリ（BA・EA）ランダム共重合体を含む反応混合物に、ブロック共重合体を作製するための共重合性モノマー成分としてメチルメタアク

リレート (MMA) を追加して、さらにリビングラジカル重合を行うことにより、ポリ (BA・EA) ランダム共重合体に、ブロック的に、重量平均分子量が約 58,000 のポリメチルメタクリレート (PMMA) を結合させた、PMMA・(ポリ (BA・EA) ランダム共重合体) ブロック共重合体 [ポリ (MMA/BA・EA) ブロック共重合体] を得た。該ポリ (MMA/BA・EA) ブロック共重合体 (「ブロック共重合体 A-6」と称する場合がある) において、ブロック共重合体全体の重量平均分子量は約 83,000 であり、PMMA の比率は 70 重量% (重量平均分子量比) である。このブロック共重合体 A-6 をフィルターやイオン交換樹脂を用いて精製した後、紫外線 (UV) により架橋させることができ且つ約 250 nm 及び約 360 nm に最大吸収波長 ( $\lambda_{max}$ ) を有するトリアジン系架橋剤を、ブロック共重合体 (ブロック共重合体 A-6) 100 重量部に対して 1 重量部添加し、さらに酢酸エチルを加えて、濃度が約 30 重量% の溶液にして、キャスト法により、膜厚: 約 0.5 mm のフィルム状サンプル (「照射サンプル A-6」と称する場合がある) を作製した。この照射サンプル A-6 の屈折率は、アッペ屈折率形により測定したところ、1.483 であった。

【0326】なお、前記ブロック共重合体 A-6 について、示差走査熱量測定 (DSC) 装置 (商品名「DSC 6200」セイコー電子工業社製) を使用して、130℃ から急冷したサンプル (ブロック共重合体) を用いて、試料重量: 7~20 mg、昇温速度: 7℃/分、窒素流速: 60~70 mm/分の条件でガラス転移温度の測定を行ったところ、該ブロック共重合体 A-6 のガラス転移温度は、約 -30℃ 及び 104℃ であり、2つの

【0327】前記照射サンプル A-6 の上面から深さが約 140  $\mu$ m である内部の位置を 2 光束干渉の焦点にして、チタン・サファイア・フェムト秒パルスレーザー装置及び対物レンズ (倍率: 10 倍) を使用して、超短パルスレーザー (照射波長: 800 nm、パルス幅:  $150 \times 10^{-15}$  秒、繰り返し: 200 kHz) を、照射エネルギー (平均出力): 50 mW をハーフミラーで分光し、照射スポット径: 約 4  $\mu$ m の条件で、照射サンプル A-6 を照射方向に垂直な方向に移動速度: 約 500  $\mu$ m/秒で、照射開始位置からの距離が 50 mm のところまで直線移動させて、第 1 の照射を直線状に 2 光束干渉により照射して行った。その後、照射方向に対して垂直な平面上で第 1 の照射の移動方向に対して垂直な方向に、照射サンプル A-6 を 15  $\mu$ m 移動させて、第 1 の照射と同じ深さで、第 1 の照射と同様にして、照射開始位置からの距離が 50 mm のところまで移動させて、第 2 の照射を直線状に 2 光束干渉により照射して行った。すなわち、第 1 の照射による焦点を移動させた焦点位置軌跡と、第 2 の照射による焦点を移動させた焦点位置軌

跡とは、照射方向に対して垂直な同一の平面上にあり、その間隔 (ピッチ距離) は 15  $\mu$ m となっている。以下同様 (照射エネルギー、ハーフミラーによる分光、照射スポット径、対物レンズ倍率、サンプル移動速度、照射位置決め、2 光束干渉での照射など) にして、第 3 の照射~第 10 の照射まで行って、小計 10 本のライン照射を行って、該第 1~第 10 のライン照射により形成された誘起構造からなる第 1 層目の誘起構造群を形成した。

【0328】次に、照射サンプル A-6 を 90° 回転させて、照射サンプル A-6 の上面から深さが約 100  $\mu$ m である内部の位置を焦点にして、先の照射 (第 1~第 10 の照射) による照射ラインに対して直交するように、前記と同様 (照射エネルギー、ハーフミラーによる分光、照射スポット径、対物レンズ倍率、サンプル移動速度、照射位置決め、2 光束干渉での照射など) にして、第 11 の照射~第 25 の照射を 2 光束干渉での照射により行って、小計 15 本のライン照射を行って、該第 11~第 25 のライン照射により形成された誘起構造からなる第 2 層目の誘起構造群を形成した。

【0329】すなわち、第 1~第 10 の照射による照射ライン (a) は互いに平行であり、その隣接する照射ライン間の間隔も一定である。また、第 11~第 25 の照射による照射ライン (b) は互いに平行であり、その隣接する照射ライン間の間隔も一定である。しかし、第 1~第 10 の照射による照射ライン (a) と、第 11~第 25 の照射による照射ライン (b) とは、照射サンプル A-6 の上面から深さが異なり [照射ライン (a) は 140  $\mu$ m、照射ライン (b) は 100  $\mu$ m]、且つ 90° 異なる方向である。

【0330】従って、照射を行った照射サンプル A-6 において、第 1~第 10 の照射による照射ライン (a) では、ピッチ間隔  $\Lambda$  + 厚み  $d$  が 15  $\mu$ m (ピッチ距離) であり、ライン本数が 10 本であり、一方該照射ライン (a) とは直交している方向で上面からの深さが異なる第 11~第 25 の照射による照射ライン (b) では、ピッチ間隔  $\Lambda$  + 厚み  $d$  が 15  $\mu$ m (ピッチ距離) であり、ライン本数が 15 本である。なお、第 1 層目の誘起構造群中の各誘起構造における互いに対向している面の面方向と、第 2 層目の誘起構造群中の各誘起構造における互いに対向している面の面方向とは、90° の面角を有している。

【0331】照射した照射サンプル A-6 の断面を光学顕微鏡で観察して、測定された誘起構造部位の寸法などを用いて、下記式 (1) で表される無次元数  $Q$

$$Q = 2\pi\lambda L / n\Lambda^2 \quad (1)$$

の式から求めた  $Q$  値を求めたところ、1.5 であった。

【0332】なお、観察された誘起構造部位のピッチ間隔 ( $\Lambda$ )、格子における互いに対向している面の奥行き長さ ( $L$ ) を測定したところ、得られたサンプルのピッチ間隔 ( $\Lambda$ ) は 10  $\mu$ m であり、格子における互いに対

向している面の奥行き長さ(L)は5 $\mu$ mであった。

【0333】(実施例16) 前記照射サンプルA-6を用いて、実施例15と同様にして、第1層目の誘起構造群と、第2層目の誘起構造群を形成した後、さらに照射サンプルA-6を55°回転させて、照射サンプルA-6の上面から深さが約60 $\mu$ mである内部の位置を焦点にして、第2層目の誘起構造群に係る第11～第25の照射ラインに対する角度が55°となるように、前記第1層目及び第2層目の誘起構造群の形成と同様(照射エネルギー、ハーフミラーによる分光、照射スポット径、対物レンズ倍率、サンプル移動速度、照射位置決め、2光束干渉での照射など)にして、第26の照射～第55の照射を2光束干渉での照射により行って、小計30本のライン照射を行って、該第26～第55のライン照射により形成された誘起構造からなる第3層目の誘起構造群を形成した。

【0334】すなわち、第26～第55の照射による照射ライン(c)は互いに平行であり、その隣接する照射ライン間の間隔も一定である。なお、第11～第25の照射による照射ライン(b)と、第26～第55の照射による照射ライン(c)とは、照射サンプルA-6の上面から深さが異なり[照射ライン(b)は100 $\mu$ m、照射ライン(c)は60 $\mu$ m]、且つ55°異なる方向である。なお、第2層目の誘起構造群中の各誘起構造における互いに対向している面の面方向と、第3層目の誘起構造群中の各誘起構造における互いに対向している面の面方向とは、55°の面角を有している。

【0335】照射した照射サンプルA-6の断面を、実施例15と同様にして、光学顕微鏡で観察して、前記式(1)で表される無次元数Qを求めたところ、1.8であった。

【0336】以上より、実施例15及び16では、照射に使用された照射サンプル(フィルム状のサンプル)並びに照射条件が好適で、Q値が1よりも大きい値が得られ透過回折も好適なBragg回折が2次的に起こっていることが明らかである。

【0337】(レーザーの再照射を行う実施例について)

(実施例17) 重合用容器に、モノマー成分としてアクリル酸ブチル(BA)と、アクリル酸エチル(EA)とを等モル比の割合で入れ、重合開始剤として2-プロモイソ酪酸エチル(前記モノマー成分全量に対して0.0012モル%)、重合触媒として臭化銅(前記モノマー成分全量に対して0.0012モル%)、助触媒として2,2'-ビピリジン系誘導体(前記モノマー成分全量に対して0.0036モル%)を用いた公知のリビングラジカル重合法により、先ず、重量平均分子量約25,000のアクリル酸ブチル・アクリル酸エチルランダム共重合体[ポリ(BA・EA)ランダム共重合体]を作製した。引き続いて、前記ポリ(BA・EA)ランダム

共重合体を含む反応混合物に、ブロック共重合体を作製するための共重合性モノマー成分としてメチルメタクリレート(MMA)を追加して、さらにリビングラジカル重合を行うことにより、ポリ(BA・EA)ランダム共重合体に、ブロック的に、重量平均分子量が約58,000のポリメチルメタクリレート(PMMA)を結合させた、PMMA・(ポリ(BA・EA)ランダム共重合体)ブロック共重合体[ポリ(MMA/BA・EA)ブロック共重合体]を得た。該ポリ(MMA/BA・EA)ブロック共重合体(「ブロック共重合体A-7」と称する場合がある)において、ブロック共重合体全体の重量平均分子量は約83,000であり、PMMAの比率は70重量%(重量平均分子量比)である。このブロック共重合体A-7をフィルターやイオン交換樹脂を用いて精製した後、紫外線(UV)により架橋させることができ且つ約250nm及び約360nmに最大吸収波長( $\lambda_{max}$ )を有するトリアジン系架橋剤を、ブロック共重合体(ブロック共重合体A-7)100重量部に対して1重量部添加し、さらに酢酸エチルを加えて、濃度が約30重量%の溶液にして、キャスト法により、膜厚:約0.5mmのフィルム状サンプル(「照射サンプルA-7」と称する場合がある)を作製した。この照射サンプルA-7の屈折率は、アッペ屈折率形により測定したところ、1.483であった。

【0338】なお、前記ブロック共重合体A-7について、示差走査熱量測定(DSC)装置(商品名「DSC6200」セイコー電子工業社製)を使用して、130℃から急冷したサンプル(ブロック共重合体)を用いて、試料重量:7～20mg、昇温速度:7℃/分、窒素流速:60～70mm/分の条件でガラス転移温度の測定を行ったところ、該ブロック共重合体Aのガラス転移温度は、約-30℃及び104℃であり、2つのガラス転移温度を有していた。

【0339】前記照射サンプルA-7の上面から深さが約80 $\mu$ mである内部の位置を焦点にして、チタン・サファイア・フェムト秒パルスレーザー装置及び対物レンズ(倍率:10倍)を使用して、超短パルスレーザー(照射波長:800nm、パルス幅:150 $\times$ 10<sup>-15</sup>秒、繰り返し:200kHz)を、照射エネルギー(平均出力):30mW、照射スポット径:約4 $\mu$ mの条件で、照射サンプルA-7を照射方向に垂直な方向に移動速度:約500 $\mu$ m/秒で、照射開始位置からの距離が50mmのところまで移動させて、第1のライン照射における1回目の照射を行った。その後、該第1のライン照射に係る1回目の照射の照射開始位置と同一又はほぼ同一の位置から、第1の照射の移動方向と同一又はほぼ同一の方向に、50mmのところまで移動させて、再照射を行うとともに、さらに同一の再照射を再度行うことにより、計2回の再照射(照射としては計3回である)を行って、第1のライン照射に係る再照射を行った。そ

の後、照射方向に対して垂直な平面上で第1のライン照射の移動方向に対して垂直な方向に、照射サンプルA-7を8 $\mu$ m移動させて、第1のライン照射と同じ深さで、第1のライン照射に係る1回目の照射および再照射と同様にして、照射開始位置からの距離が50mmのところまで移動させて、第2のライン照射（照射としては計3回である）を行った。すなわち、第1のライン照射による焦点を移動させた焦点位置軌跡と、第2のライン照射による焦点を移動させた焦点位置軌跡とは、照射方向に対して垂直な同一の平面上にあり、その間隔は8 $\mu$ mとなっている。以下同様にして、第3のライン照射～第15のライン照射まで行って、合計15本のライン照射を行った。なお、第3のライン照射～第15のライン照射についても第1のライン照射及び第2のライン照射と同様に、各ライン照射の再照射回数が2回であり、照射回数としては各ライン照射で計3回である。また、照射を行った照射サンプルA-7では、ピッチ間隔 $\Lambda$ ＋厚みdが8 $\mu$ m（ピッチ距離）であり、ライン本数が15本である。

【0340】照射した照射サンプルA-7の断面を光学顕微鏡で観察し、得られた格子状サンプルのピッチ間隔（ $\Lambda$ ）、格子の対向する面の奥行き長さ（L）を測定した。また照射サンプルに波長が632.8nmのHe-\*

一次の回折効率 $\eta_1$  = （一次の回折光強度）／（入射光強度） （2）

で表される式から求めた一次の方向の回折効率（ $\eta_1$ ）とを表5に示している。ここで、スポットの最大次数が1に近く小さいほどBragg回折が主に起こっていることを示している。

【0344】さらにまた、下記式（3a）及び（3b）。

$$\eta_1 = J_1^2(\delta) \quad (3a)$$

$$\delta = 2\pi \Delta n L / (\lambda \cos \theta) \quad (3b)$$

（式（3a）及び（3b）において、 $J_1(\delta)$ は指数1のBessel関数、 $\Delta n$ は屈折率変調の値、Lは複数の屈折率変調部の対向する面の奥行き長さ、 $\lambda$ は回折される光の波長、 $\theta$ は入射角である。）で表される式から求めた屈折率変調の値 $\Delta n$ を表5に示している。

【0345】

【表5】

表 5

	実施例 17	比較例 4
ピッチ間隔 ( $\mu$ m)	8	8
奥行き長さ ( $\mu$ m)	72	83
Qの値	3.9	4.6
スポット最大次数	1	1
一次の方向の 回折効率（ $\eta_1$ ）	0.27	0.033
屈折率変調の値 ( $\Delta n$ )	$1.81 \times 10^{-3}$	$0.42 \times 10^{-3}$

\* Ne（ヘリウム－ネオン）レーザーを図18に示したように照射して、透過回折のスポットの出現を観察した。これらの測定結果を表5に示した。

【0341】（比較例4）実施例17と同じ照射サンプルA-7を用いて、再照射を行わないこと以外は、実施例17と同じ照射条件で照射した。すなわち、比較例4では、第1のライン照射～第15のライン照射では、各ライン照射における照射回数は1回である。また、実施例17と同様に光学顕微鏡による断面観察並びにHe-Neレーザー照射による透過回折のスポットを観察したところ、表5に示す結果が得られた。

【0342】なお、上記実施例17および比較例4に係る各照射サンプルについて、光学顕微鏡観察を行ったところ、内部に格子状の誘起構造を有する部位の形成が観察された。

【0343】また、実施例17および比較例4に係る照射サンプルに関して、上記光学顕微鏡によって測定された誘起構造部位の寸法などを用いて、下記式（1）無次元数 $Q = 2\pi \lambda L / n \Lambda^2$  （1）で表される式から求めたQ値と、He-Neレーザー照射による透過回折で観察されたスポットの最大次数と、下記式（2）

一次の回折効率 $\eta_1$  = （一次の回折光強度）／（入射光強度） （2）

【0346】表5より、実施例17では、照射に使用された照射サンプル（フィルム状のサンプル）並びに照射条件が好適で、Q値が1よりも大きい値が得られるとともに、屈折率変調が大きく、さらに透過回折も好適なBragg回折が主に起こっていることが明らかである。一方、比較例4では、一次の回折効率（ $\eta_1$ ）が実施例17に比較して小さく、また、屈折率変調も小さい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のプラスチック透過型回折格子の一例を示す概略鳥瞰図である。

【図2】本発明のプラスチック透過型回折格子の他の例を示す概略鳥瞰図である。

【図3】本発明のプラスチック透過型回折格子の他の例を示す概略鳥瞰図である。

【図4】本発明のプラスチック透過型回折格子の他の例を示す概略鳥瞰図である。

【図5】本発明のプラスチック透過型回折格子の他の例を示す概略鳥瞰図である。

【図6】本発明のプラスチック透過型回折格子A1を作製する方法の一例を示す概略図である。

【図7】プラスチック透過型回折格子Aa1を作製するために、プラスチック構造体の内部に屈折率変化部を作製する方法の一例を示す概略図である。

【図8】プラスチック透過型回折格子Aa1を作製する方法の一例を示す概略図である。図8において、（a）はプラスチック透過型回折格子Aa1を作製するための

材料となる延伸させたプラスチック構造体A a 1 1 aを示しており、(b)は(a)に係る延伸させたプラスチック構造体A a 1 1 aの内部に屈折率変化部A a 2 aを形成させたプラスチック構造体A a 1 2 aを示しており、(c)は(b)に係る屈折率変化部A a 2 aを有する延伸されているプラスチック構造体A a 1 2 aを収縮させて得られたプラスチック透過型回折格子A a 1を示している。

【図9】本発明のプラスチック透過型回折格子Bを作製する方法の一例を示す概略図である。

【図10】本発明のプラスチック透過型回折格子Bを作製する方法の他の例を示す概略図である。

【図11】本発明のプラスチック透過型回折格子Cを作製する方法の一例を示す概略図である。

【図12】図4に係るプラスチック透過型回折格子D 1を作製する方法の一例を示す概略図である。

【図13】本発明のプラスチック透過型回折格子Dの他の例を示す概略鳥瞰図である。

【図14】本発明のプラスチック透過型回折格子Dの他の例を示す概略鳥瞰図である。

【図15】プラスチック透過型回折格子D aを作製する方法の一例を示す概略図である。

【図16】照射した照射サンプルA-3についてのキーエンス社製デジタルマイクロスコープ(VH-250)による平面写真を示す図である。

【図17】照射した照射サンプルA-3への632.8 nmのHe-Neレーザーの照射による透過回折で観察されたスポットの出現の写真を示す図である。

【図18】回折格子中を透過する光が回折を起こす状態を示す概略図であり、図18(a)はBragg回折を示し、図18(b)はRaman-Nath回折を示す。

#### 【符号の説明】

A 1 プラスチック透過型回折格子；  
 A 1 a 光が入射する入射面（上面）  
 A 1 1 プラスチック構造体  
 A 2 屈折率変化部  
 A 2 1 屈折率変化部  
 A 2 2 屈折率変化部  
 A 2 x 屈折率変化部  
 A 2 a 屈折率変化部A 2の対向する面  
 A 3 屈折率未変化部  
 $\Lambda$  隣接した屈折率変化部A 2間の平行間隔（ピッチ間隔）  
 $L$  屈折率変化部A 2の対向する面A 2 aの奥行き長さ  
 $d$  屈折率変化部A 2の厚み  
 $W$  屈折率変化部A 2の対向する面A 2 aの幅  
 A 4 パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザー

A 4 a レーザー4の照射方向  
 A 5 レンズ  
 A 6 1 a 照射開始位置  
 A 6 2 a 照射開始位置  
 A 6 x a 照射開始位置  
 A 6 1 b 照射終了位置  
 A 6 2 b 照射終了位置  
 A 6 x b 照射終了位置  
 A 6 1 c 焦点位置  
 A 6 2 c 焦点位置  
 A 6 x c 焦点位置  
 A 6 1 焦点位置軌跡  
 A 6 2 焦点位置軌跡  
 A 6 x 焦点位置軌跡  
 A 7 隣接した照射開始位置(A 6 1 a, A 6 2 a, ..., A 6 x a)間の距離  
 A a 1 プラスチック透過型回折格子  
 A a 1 a 光が入射する入射面（上面）  
 A a 1 b 下面  
 A a 2 屈折率変化部  
 A a 2 1 屈折率変化部  
 A a 2 2 屈折率変化部  
 A a 2 x 屈折率変化部  
 A a 2 b 屈折率変化部A a 2の対向する面  
 A a 3 屈折率未変化部  
 A a 1 1 プラスチック構造体  
 A a 1 2 プラスチック構造体  
 A a 2 a 屈折率変化部  
 A a 2 a 1 屈折率変化部  
 A a 2 a 2 屈折率変化部  
 A a 2 a x 屈折率変化部  
 A a 4 パルス幅が $10^{-12}$ 秒以下である超短パルスレーザー  
 A a 4 a レーザーA a 4の照射方向  
 A a 5 レンズ  
 A a 6 1 a 照射開始位置  
 A a 6 2 a 照射開始位置  
 A a 6 x a 照射開始位置  
 A a 6 1 b 照射終了位置  
 A a 6 2 b 照射終了位置  
 A a 6 x b 照射終了位置  
 A a 6 1 c 焦点位置  
 A a 6 2 c 焦点位置  
 A a 6 x c 焦点位置  
 A a 6 1 焦点位置軌跡  
 A a 6 2 焦点位置軌跡  
 A a 6 x 焦点位置軌跡  
 A a 7 隣接した照射開始位置(A a 6 1 a, A a 6 2 a, ..., A a 6 x a)間の距離  
 A a 1 1 a 予め1軸延伸されたプラスチック構造体



A a 1 2 a プラスチック構造体 A a 1 1 a の内部に屈折率変化部 A a 2 a が形成された状態のプラスチック構造体

MD 延伸方向

TD 直交方向

B 1 プラスチック透過型回折格子

B 1 a 光が入射する入射面（上面）

B 1 b 下面

B 1 c 側面

B 1 d 側面 B 1 c に対向する側面

B 1 1 プラスチック構造体

B 2 屈折率変化部

B 2 1 屈折率変化部

B 2 2 屈折率変化部

B 2 x 屈折率変化部

B 2 a 屈折率変化部 B 2 の対向する面

B 3 屈折率未変化部

$\Lambda_s$  隣接した屈折率変化部 B 2 間の間隔（ピッチ間隔）

$\Lambda_{\min}$  ピッチ間隔  $\Lambda_s$  の最小間隔

$\Lambda_{\max}$  ピッチ間隔  $\Lambda_s$  の最大間隔

$L_s$  屈折率変化部 B 2 の対向する面 B 2 a の奥行き長さ

$d_s$  屈折率変化部 B 2 の厚み

$W_s$  屈折率変化部 B 2 の対向する面 B 2 a の幅

B 4 パルス幅が  $10^{-12}$  秒以下である超短パルスレーザー

B 4 a レーザー 4 の照射方向

B 5 レンズ

B 6 1 a 照射開始位置

B 6 2 a 照射開始位置

B 6 x a 照射開始位置

B 6 1 b 照射終了位置

B 6 2 b 照射終了位置

B 6 x b 照射終了位置

B 6 1 c 焦点位置

B 6 2 c 焦点位置

B 6 x c 焦点位置

B 6 1 焦点位置軌跡

B 6 2 焦点位置軌跡

B 6 x 焦点位置軌跡

B 7 a 隣接した照射開始位置（B 6 1 a, B 6 2 a, ..., B 6 x a）間の距離

B 7 b 隣接した照射終了位置（B 6 1 b, B 6 2 b, ..., B 6 x b）間の距離

B 8 プラスチック構造体

B 8 a プラスチック構造体 B 8 の一方の側（固定する側）の面

B 8 b プラスチック構造体 B 8 の他方の側（延伸する側）の面

B 8 1 延伸されたプラスチック構造体

B 8 c 延伸プラスチック構造体 B 8 1 の延伸した方の面

B 8 2 収縮されたプラスチック構造体

B 8 d 収縮プラスチック構造体 B 8 2 の収縮した方の面

B 9 a 延伸プラスチック構造体 B 8 1 における屈折率変化部

B 9 b 収縮プラスチック構造体 B 8 2 における屈折率変化部

10 D<sub>8s</sub> プラスチック構造体 B 8 の幅

D<sub>8s1</sub> 延伸プラスチック構造体 B 8 1 の延伸した方の面 B 8 c の幅

D<sub>8s2</sub> 収縮プラスチック構造体 B 8 2 の収縮した方の面 B 8 d の幅

C 1 プラスチック透過型回折格子

C 1 a 光が入射する入射面（上面）

C 1 1 プラスチック構造体

C 2 屈折率変化部

C 2 a 屈折率変化部

C 2 a 1 屈折率変化部

C 2 a 2 屈折率変化部

C 2 a x 屈折率変化部

C 2 b 屈折率変化部

C 2 b 1 屈折率変化部

C 2 b 2 屈折率変化部

C 2 b x 屈折率変化部

C 3 屈折率未変化部

$\Lambda_c$  平行に隣接した屈折率変化部 C 2 a 間の平行間隔（ピッチ間隔）

30 L<sub>c</sub> 屈折率変化部 C 2 の奥行き長さ

d<sub>c</sub> 屈折率変化部 C 2 の厚み

W<sub>c</sub> 屈折率変化部 C 2 の幅

C 4 パルス幅が  $10^{-12}$  秒以下である超短パルスレーザー

C 4 a レーザー C 4 の照射方向

C 5 レンズ

C 6 1 a 照射開始位置

C 6 2 a 照射開始位置

40 C 6 x a 照射開始位置

C 6 1 b 照射終了位置

C 6 2 b 照射終了位置

C 6 x b 照射終了位置

C 6 1 c 焦点位置

C 6 2 c 焦点位置

C 6 x c 焦点位置

C 6 1 焦点位置軌跡

C 6 2 焦点位置軌跡

C 6 x 焦点位置軌跡

50 C 7 隣接した照射開始位置（C 6 1 a, C 6 2

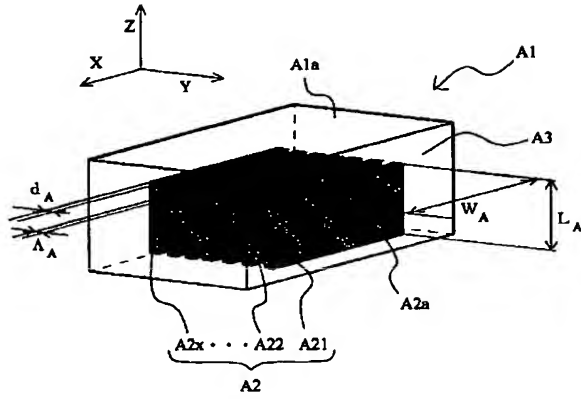
a, ..., C 6 x a) 間の距離  
D 1 プラスチック透過型回折格子  
D 1 a 光が入射する入射面 (上面)  
D 1 1 プラスチック透過型回折格子  
D 1 1 a 光が入射する入射面 (上面)  
D 1 2 プラスチック構造体  
D 2 屈折率変化部  
D 2 a 屈折率変化部  
D 2 a 1 屈折率変化部  
D 2 a 2 屈折率変化部  
D 2 a x 屈折率変化部  
D 2 b 屈折率変化部  
D 2 b 1 屈折率変化部  
D 2 b 2 屈折率変化部  
D 2 b x 屈折率変化部  
D 2 c 屈折率変化部  
D 2 c 1 屈折率変化部  
D 2 c 2 屈折率変化部  
D 2 c x 屈折率変化部  
F<sub>D2a</sub> 屈折率変化部 D 2 a における互いに対向し  
ている面  
F<sub>D2b</sub> 屈折率変化部 D 2 b における互いに対向し  
ている面  
F<sub>D2c</sub> 屈折率変化部 D 2 c における互いに対向し  
ている面  
D 3 a 格子群  
D 3 b 格子群  
D 3 c 格子群  
D 4 屈折率未変化部  
Λ<sub>n</sub> 各格子群中の平行に隣接した屈折率変化部  
D 2 間の平行間隔  
L<sub>n</sub> 屈折率変化部 D 2 の奥行き長さ  
d<sub>n</sub> 屈折率変化部 D 2 の厚み  
W<sub>n</sub> 屈折率変化部 D 2 の幅  
D 5 パルス幅が  $10^{-12}$  秒以下である超短パルス  
レーザー  
D 5 a レーザー D 5 の照射方向  
D 6 レンズ  
D 7 1 a 照射開始位置  
D 7 2 a 照射開始位置  
D 7 x a 照射開始位置  
D 7 1 b 照射終了位置  
D 7 2 b 照射終了位置  
D 7 x b 照射終了位置  
D 7 1 c 焦点位置  
D 7 2 c 焦点位置  
D 7 x c 焦点位置  
D 7 1 焦点位置軌跡  
D 7 2 焦点位置軌跡  
D 7 x 焦点位置軌跡

D 8 隣接した照射開始位置 (D 7 1 a, D 7 2  
a, ..., D 7 x a) 間の距離  
D a 1 プラスチック透過型回折格子  
D a 1 a 光が入射する入射面 (上面)  
D a 1 1 プラスチック透過型回折格子  
D a 1 1 a 光が入射する入射面 (上面)  
D a 1 2 プラスチック構造体  
D a 2 屈折率変化部  
D a 2 a 屈折率変化部  
D a 2 a 1 屈折率変化部  
D a 2 a 2 屈折率変化部  
D a 2 a x 屈折率変化部  
D a 2 b 屈折率変化部  
D a 2 b 1 屈折率変化部  
D a 2 b 2 屈折率変化部  
D a 2 b x 屈折率変化部  
D a 2 c 屈折率変化部  
D a 2 c 1 屈折率変化部  
D a 2 c 2 屈折率変化部  
D a 2 c x 屈折率変化部  
F<sub>Da2a</sub> 屈折率変化部 D a 2 a における互いに対向し  
ている面  
F<sub>Da2b</sub> 屈折率変化部 D a 2 b における互いに対向し  
ている面  
F<sub>Da2c</sub> 屈折率変化部 D a 2 c における互いに対向し  
ている面  
D a 3 a 格子群  
D a 3 b 格子群  
D a 3 c 格子群  
D a 4 屈折率未変化部  
Λ<sub>na</sub> 各格子群中の平行に隣接した屈折率変化部 D  
a 2 間の平行間隔  
L<sub>na</sub> 屈折率変化部 D a 2 の奥行き長さ  
d<sub>na</sub> 屈折率変化部 D a 2 の厚み  
W<sub>na</sub> 屈折率変化部 D a 2 の幅  
D a 5 1 パルス幅が  $10^{-12}$  秒以下である超短パルス  
レーザー  
D a 5 2 パルス幅が  $10^{-12}$  秒以下である超短パルス  
レーザー  
D a 5 1 a レーザー D a 5 1 の照射方向  
D a 5 2 a レーザー D a 5 2 の照射方向  
D a 6 1 レーザー D a 5 1 の焦点を調整するための  
レンズ  
D a 6 2 レーザー D a 5 2 の焦点を調整するための  
レンズ  
D a 7 1 a 照射開始位置  
D a 7 2 a 照射開始位置  
D a 7 x a 照射開始位置  
D a 7 1 b 照射終了位置  
D a 7 2 b 照射終了位置

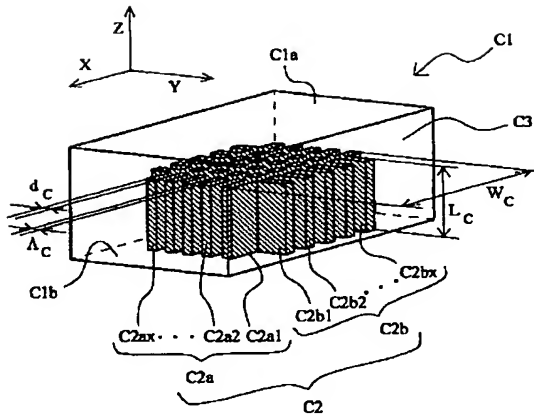
Da7xb 照射終了位置  
 Da71c 焦点位置  
 Da72c 焦点位置  
 Da7xc 焦点位置  
 Da71 焦点位置軌跡

\*

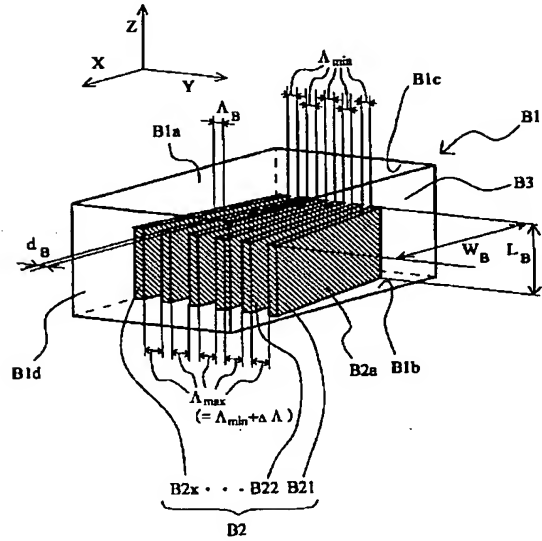
【図1】



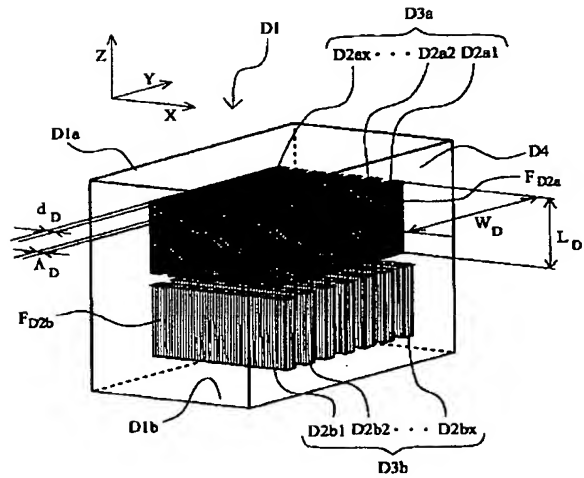
【図3】



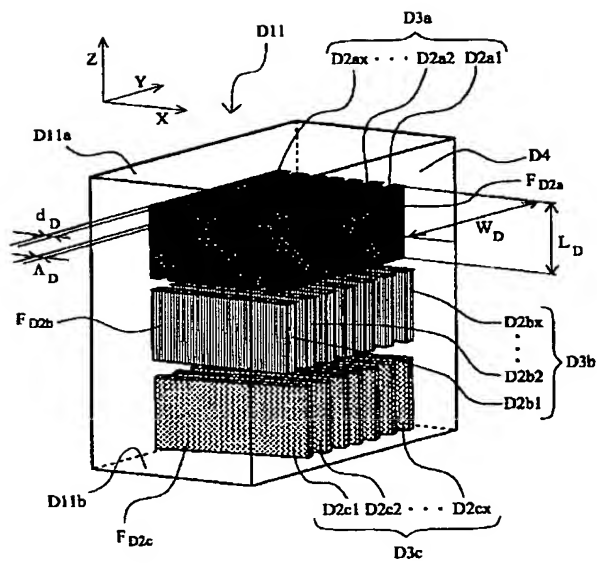
【図2】



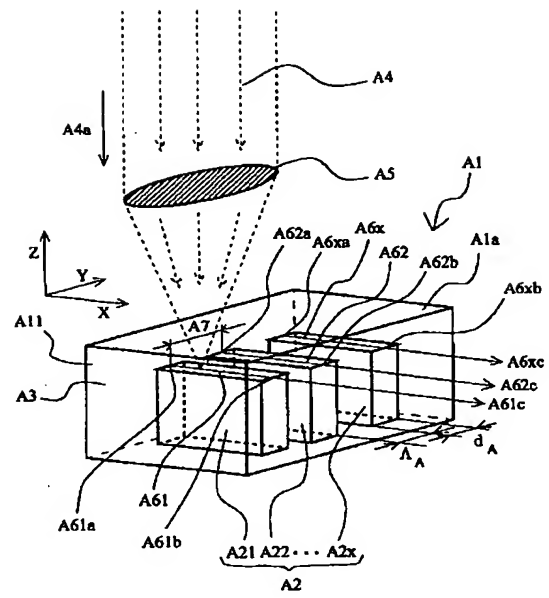
【図4】



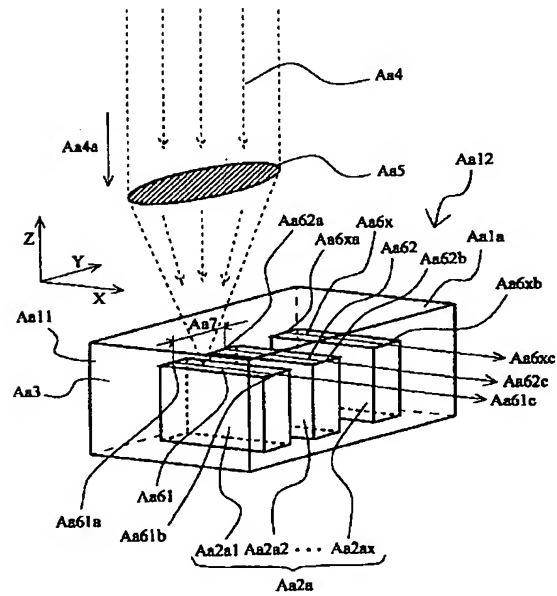
【図5】



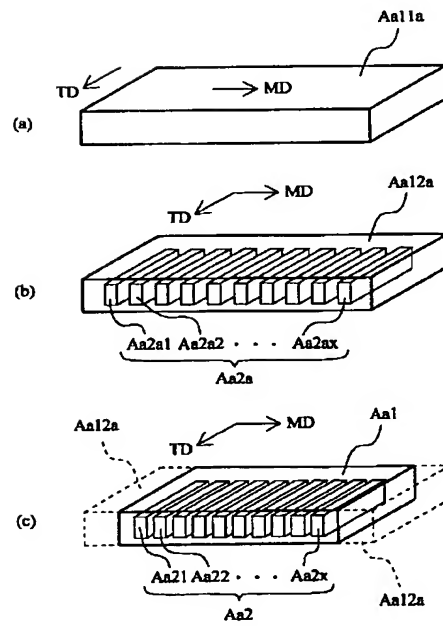
【図6】



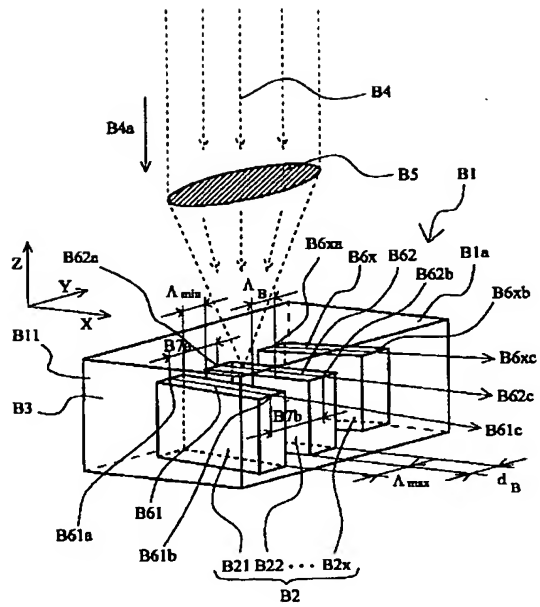
【図7】



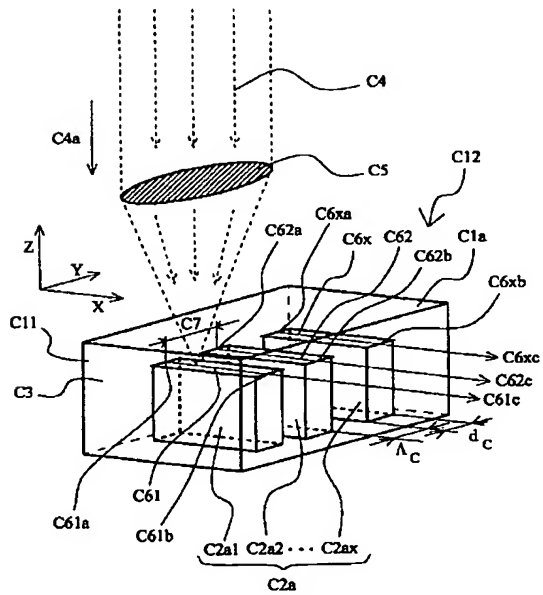
【図8】



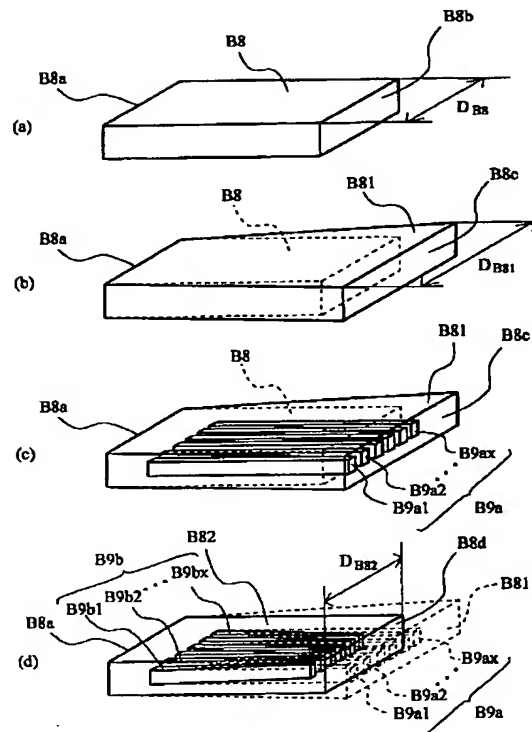
【図9】



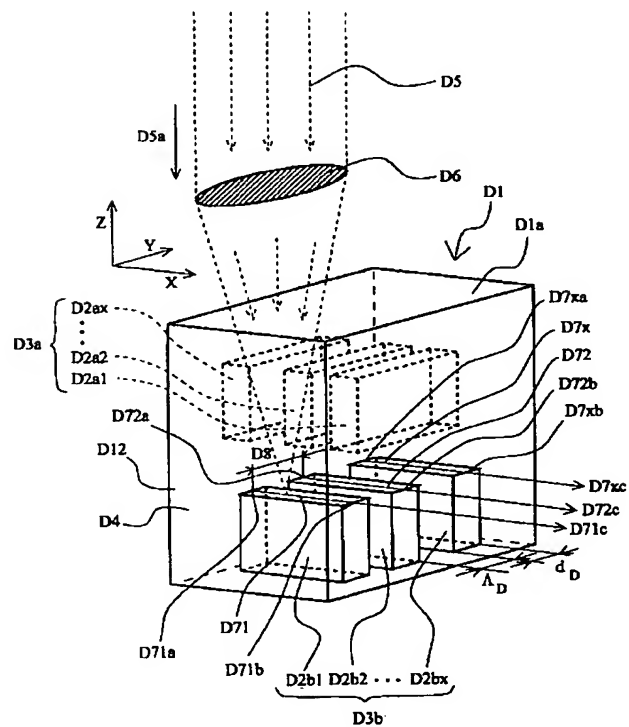
【図11】



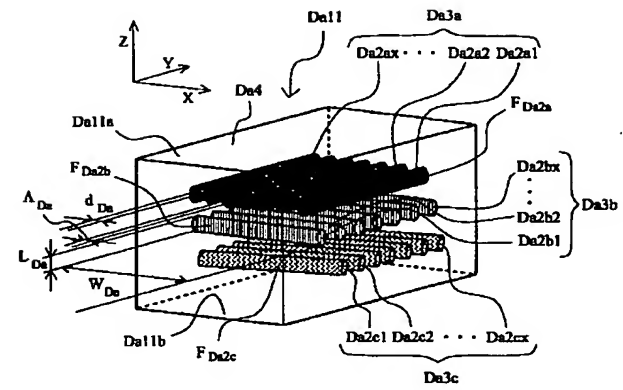
【図10】



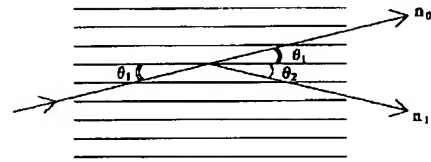
【図12】



【図 14】



【图 18】



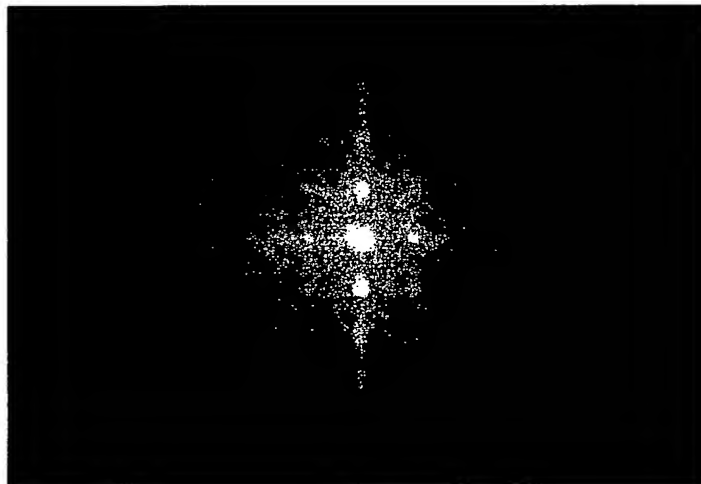
(b)



【図16】



【図17】



## フロントページの続き

(31)優先権主張番号 特願2001-251749(P2001-251749)  
 (32)優先日 平成13年8月22日(2001. 8. 22)  
 (33)優先権主張国 日本(JP)  
 (31)優先権主張番号 特願2001-282635(P2001-282635)  
 (32)優先日 平成13年9月18日(2001. 9. 18)  
 (33)優先権主張国 日本(JP)  
 (31)優先権主張番号 特願2001-282636(P2001-282636)  
 (32)優先日 平成13年9月18日(2001. 9. 18)  
 (33)優先権主張国 日本(JP)

(31)優先権主張番号 特願2001-322092(P2001-322092)  
 (32)優先日 平成13年10月19日(2001. 10. 19)  
 (33)優先権主張国 日本(JP)  
 (72)発明者 諸石 裕  
 大阪府茨木市下穂積一丁目1番2号 日東  
 電工株式会社内  
 (72)発明者 浦入 正勝  
 大阪府茨木市下穂積一丁目1番2号 日東  
 電工株式会社内  
 (72)発明者 平尾 一之  
 京都府京都市左京区田中下柳町8-94

(55)

特開2003-195023

(72)発明者 堤 直人  
京都府京都市左京区一乗寺燈籠本町36

Fターム(参考) 2H049 AA02 AA33 AA43 AA53 AA62  
AA66